

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS

Aurimas Latvys

3D NAMŲ STATYBOS TECHNOLOGINĖ BAZĖ

Baigiamasis magistro projektas

Vadovas

Prof. dr. Vitoldas Vaitkevičius

KAUNAS, 2016

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS
STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas
Prof. dr. Vitoldas Vaitkevičius

3D NAMŲ STATYBOS TECHNOLOGINĖ BAZĖ

Baigiamasis magistro projektas
Statyba (621J80001)

Vadovas
Prof. dr. Vitoldas Vaitkevičius

Recenzentas

Projektą atliko
Aurimas Latvys

KAUNAS, 2016

Projektą atliko SSM- 4 gr. studentas:

Aurimas Latvys
vardas, pavardė

parašas, data

Konsultantai:

Architektūrinė dalis

Gitana Šukaitytė
vardas, pavardė

parašas, data

Ekonominė dalis

Odeta Viliūnienė
vardas, pavardė

parašas, data

Grafinė dalis

Jolanta Šadauskienė
vardas, pavardė

parašas, data

Konstrucijų skaičiavimo dalis

Goaras Andriušis
vardas, pavardė

parašas, data

Technologijų dalis

Vitoldas Vaitkevičius
vardas, pavardė

parašas, data

Darbų saugos dalis

Dalia Nizevičienė
vardas, pavardė

parašas, data

PARENGTO BAIGIAMOJO DARBO SAVARANKIŠKUMO PATVIRTINIMAS

Patvirtinu, kad parengtas magistro baigiamasis darbas „3D namų statybos technologinė bazė“:

- Atliktas savarankiškai ir nebuvo kaip visuma pateiktas jokiame dėstomajam dalykui
- atsiskaityti šiame ar ankstesniuose semestruose;
- Nebuvo pateiktas atsiskaityti kitame KTU fakultete arba kitoje Lietuvos aukštojoje mokykloje;
- Turi visas į baigiamojo darbo literatūros sąrašą įtrauktą informacijos šaltinių nuorodas.

(vardas, pavardė, parašas, data)

TURINYS

ĮVADAS	10
1. STATYBOS REGLAMENTAVIMO IR TEISINĖS SĄLYGOS	11
1.1. Statybos leidimas	11
1.2. Statinio projekto ekspertizė ir statinio ekspertizė	12
2. ARCHITEKTŪRINĖ DALIS	13
2.1. Bendrieji duomenys	13
2.2. Pastato planinis sprendimas	13
2.3. Sklypo plano principiniai sprendimai	13
2.4. Konstrukciniai pastato sprendimai.....	14
2.5. Langai, durys, vartai	18
3. KONSTRUKCINĖ DALIS	19
3.1. Elementų parinkimas ir išdėstymas	19
3.2. Apkrovų skaičiavimas.....	19
3.3. Santvaros elementų skaičiavimas	23
3.3.1. Santvaros viršutinės juostos skaičiavimas	24
3.3.2. Santvaros apatinės juostos skaičiavimas	28
3.3.3. Santvaros tinkliuko skaičiavimas	28
3.4. Santvaros elementų konstravimas.....	30
3.5. Santvaros mazgų projektavimas	32
3.5.1. Gniuždomojo santvaros tinklelio spyrio ir viršutinės juostos jungties laikomosios galios tikrinimas (mazgas „A“).....	33
3.5.2. Flanšinės jungties skaičiavimas (mazgas „B“).....	37
3.5.3. Atraminio mazgo skaičiavimas (mazgas „C“).....	40
4. TECHNOLOGINĖ IR ORGANIZACINĖ DALIS.....	42
4.1. Gaminio aprašymas.....	42
4.2. Gaminių asortimentas	42
4.3. 3D spausdinimo įrenginys	43
4.4. Gaminio žaliavos	44
4.5. Gamybinio pajėgumo skaičiavimas	45
4.6. Gamybos proceso aprašymas.....	46
4.7. Gamybos proceso technologinė schema	47
4.8. Technologinės linijos skaičiavimas	48
4.9. Cemento ir smėlio sandėliai.....	49
4.10. Hidratacijos greitiklis ir vandens sandėliai	50
4.11. Produkcijos sandėlis.....	50

5. EKONOMINĖ DALIS	51
6. DARBŲ SAUGA IR APLINKOSAUGA.....	56
6.1. Darbų sauga ir darbuotojų sveikata statinio statybos metu.....	56
6.2. Profesinės rizikos vertinimas darbo vietoje	57
6.3. Aplinkosaugos reikalavimai	61
7. MOKSLINIS TIRIAMASIS DARBAS	62
7.1. Literatūros analizė.....	62
7.1.1. 3D spausdinimas, kas tai yra?.....	62
7.1.2. 3D pritaikymas statybų industrijoje.....	62
7.1.3. Cemento pagrindu naudojamų medžiagų spausdinimo būdai	63
7.1.4. Teorinės struktūros tyrimo metodai.....	64
7.1.5. Medžiagos ir tyrimo metodas	66
7.1.6. Rezultatai ir diskusijos	67
7.1.7. 3D namų modeliavimo technologinės bazės kūrimo būdai.....	69
7.2. Tyrimas	75
IŠVADOS.....	78
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	80
PRIEDAI:	

1 priedas. Lokalinė sąmata

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
STATYBOS IR ARCHITEKTŪROS FAKULTETAS
STATYBINIŲ MEDŽIAGŲ KATEDRA

Magistro baigiamasis darbas

3D NAMŲ STATYBOS TECHNOLOGINĖ BAZĖ

Aurimas Latvys

ANOTACIJA

Tikslas. Suprojektuoti 3D namo dalių spausdinimo technologinę bazę, gamyklą. Be to, surasti reikalingus konstrukcinius sprendimus, parinkti gaminius, įrangą, statybines medžiagas bei sudaryti sąmatą.

Sprendimai. Suprojektuotos gamyklos sklypo plotas – 5238,0 m². Ji pati yra 48,6 m ilgio, 24 m pločio ir 11 m aukščio. Bendras gamyklos su administracinėmis patalpomis užstatymo plotas – 1365 m². Į bendrą gamyklos plotą įeina ir sandėliavimo patalpos žaliavoms bei gautai produkcijai. Numatoma įrengti žaliavų bei produkcijos sandėliavimo vietas. Taip pat apskaičiuota laikančioji konstrukcija – santvara. Įvertinus visas stogą veikiančias apkrovas ir programos pagalba gavus santvarą veikiančias įrašas, buvo apskaičiuoti reikalingi skerspjuviai. Viršutinė santvaros juosta iš 180x8 mm, apatinė juosta iš 160x6 mm ir spyriai iš 100x4 mm plieninių vamzdžių. Be to, parengta darbų sauga, įvertintos reikalingos darbo saugos priemonės, gaisro saugos keliami reikalavimai, aplinkos apsaugos problemos ir jų sprendimo būdai.

Reikšmingi žodžiai: 3D, santvara, gamykla, įrenginiai.

KAUNAS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE FACULTY
BUILDING MATERIAL DEPARTMENT

Master's thesis

3D HOME CONSTRUCTION TECHNOLOGICAL BASE

Aurimas Latvys

ABSTRACT

Purpose. The purpose of this thesis is to design 3D printing parts of the house technological base and 3D printing factory. Also my aim is to find structural solutions, to select products, equipment, building materials and to draw up estimate.

Solutions. Factory site area is 5238.0 m². It is 48.6 m long, 24.0 m wide and 13.0 m high. Total factory area with office space is 1365.0 m². Factory space as well includes storage areas for raw materials and derived products. Also I estimated support structure – truss. The evaluation of the whole roof of the stresses and receiving of truss internal forces acting helped in the calculation of the cross sections. The upper truss belt from 180x8 mm, the lower band from 160x6 mm and kicks from 100x4 mm steel pipes. It was also been described of work safety, assessed the necessary safety measures, fire safety requirements, environmental problems and their solutions.

Significant words: 3D, truss, factory, equipment

IVADAS

Magistriniame darbe projektuojama gamykla, kurioje bus gaminamos namo dalys yra statoma Molėtuose. Gamykloje atspausdintos namo dalys bus montuojamos statybvietyje, kranų pagalba. Gamyklos sklypo plotas – 5238,00 m². Pati gamykla yra 48,6 m ilgio, 24 m pločio ir 13 m aukščio. Bendras gamyklos su administracinėmis patalpomis užstatymo plotas – 1365 m². Į bendra gamyklos plotą įeina ir sandėliavimo patalpos žaliavoms bei gautai produkcijai. Gamykla nuo artimiausios gatvės yra už 14 m 62,5 cm, artimiausias gyvenamas pastatas yra už 500 m.

Svarbiausias darbo tikslas yra suprojektuoti pačią 3D namo dalių spausdinimo gamybos technologinę liniją. Šioje dalyje parenkami gamybai reikalingi įrenginiai, taip pat svarbus yra jų tinkamas išdėstymas. Numatoma įrengti dvi žaliavų bei produkcijos sandėliavimo vietas, nes bus gaminama dvejomis skirtingomis technologijomis. Pirmąją ir pagrindinę gamybos technologiją bus gaminamos namo dalys – Sieniniai elementai, bei elementai kurie suformuoja stogą. Šiems gaminiams gaminti reikės cemento, vandens, hidratacijos greitiklio bei vandens žaliavų. Antroji gamybos technologija bus kur kas mažesnė, produkcija pagrinde bus lauko indai. Įvairios smiltainio skulptūros bei muziejams atkartoti paminklus. Taip pat, projektuojant gamykla be technologinės linijos bus nagrinėjami kiti susiję statybos uždaviniai:

- ✓ Išnagrinėti teisinę dalį;
- ✓ Nubraižyti visus reikalingus architektūrinius brėžinius, detalizuoti reikiamas konstrukcijas bei aprašyti visus sprendinius;
- ✓ Atlikti santvaros konstrukcinius skaičiavimus;
- ✓ Išnagrinėti darbo saugos ir aplinkosaugos klausimus;
- ✓ Sudaryti lokalines sąmatas;

Mokslas bei inovacijos sparčiai integruojasi į žmonių gyvenimą. Vienas iš pavyzdžių - 3D spausdinimas, kuris sparčiai plinta visame pasaulyje. Daugelyje pramonės sričių rankų darbą keičia robotai. Beveik kiekviename pramonės sektoriuje, procesų automatizavimas padėjo greičiau ir pigiau gaminti produktus, bet to negalime pasakyti apie statybos sektorių. Namai, kurie bus statomi 3D printerių pagalba bus statomi daug kartų greičiau ir gerokai mažesnėmis sąnaudomis ir tai taps nepakeičiamu įrenginiu.

1. STATYBOS REGLAMENTAVIMO IR TEISINĖS SĄLYGOS

Projektuojama gamykla, kurioje bus gaminami namų konstrukciniai elementai, bei interjero detalės yra statoma Molėtuose. Statybos sklypo planas – 5238 m². Projektuojamas pastatas yra 48,6 m ilgio, 24 m pločio ir 11 m aukščio. Bendras gamyklos su administracinėmis patalpomis užstatymo plotas – 1365 m².

Užsakovas turi įgaliojimus parinkti statybos organizavimo būdą – rangos, ūkio ar mišrų (dalį darbų atliekant rangos, dalį – ūkio būdu), statinio statybos valdymo ar kitus būdus, kurie neprieštarautų įstatymams ir kitiems teisės aktams. Projektuojama gamykla yra ypatingas statinys ir statoma rangos būdu, todėl statytojas turi teisę pasirinkti rangovus. Būti rangovu ir vykdyti ypatingų statinių statybą turi teisę Lietuvos Respublikoje įregistruota statybos įmonė arba užsienio valstybės statybos įmonė, gavusios Vyriausybės įgaliotos institucijos išduotą atestatą verstis šia veikla [1].

1.1. Statybos leidimas

Statybos leidimas išduodamas užsakovui, turinčiam statytojo įgaliojimus. Visiems statiniams, suprojektuotiems viename projekte ir esantiems tiek statinio statybos sklype, tiek už jo ribų jiems (pagal statinio projektavimo sąlygas suprojektuotiems inžineriniams tinklams ir susisiekimo komunikacijoms), tarp jų – ir laikiniams statiniams, statomiems statybos reikmėms, taip pat visoms statybos rūšims, numatytoms projekte (naujų statinių statybai, rekonstravimui, kapitaliniam remontui, griovimui, nekilnojamųjų kultūros paveldo vertybių tvarkymo statybos darbams) išduodamas vienas statybos leidimas. Kad gautų statybos leidimą, Užsakovas turi pateikti savivaldybės merui arba administracijos subjektui visus šiuos dokumentus [2]:

1. Nustatytos formos prašymą;
2. Žemės sklypo nuosavybės teisę ar kitą valdymo ir naudojimo teisę patvirtinančius dokumentus;
3. Statinio bendraturčių sutikimą;
4. sutartį su gretimo žemės sklypo savininku dėl šio sklypo dalies laikino naudojimo statybos metu ir servitutų naudojant pastatytą statinį, dėl kompensacijų už naudojimąsi žemės sklypu bei žalą (jei ji padaroma) tais atvejais, kai pagal statinio projektavimo sąlygų sąvadą inžineriniai tinklai ar susisiekimo komunikacijos numatomi tiesti už Statytojui priklausančio žemės sklypo ribų ar kai gretimo sklypo dalį numatoma panaudoti statybvietai įrengti;
5. Statinio projektą;
6. Statinio projekto ekspertizės išvadas;
7. statinio projekto patvirtinimo dokumentą;

8. atsakingos institucijos sprendimą dėl planuojamos ūkinės veiklos pasirinktoje vietoje leistinumo poveikio aplinkai požiūriu pagal Planuojamos ūkinės veiklos poveikio aplinkai vertinimo įstatymą;
9. dokumentą dėl statinio statybos techninės priežiūros (kai techninė priežiūra yra privaloma) vadovo paskyrimo ir jo kvalifikacijos atestato kopiją
10. statinių kadastrinių matavimų bylą [2].

1.2. Statinio projekto ekspertizė ir statinio ekspertizė

Atliekant bendrąją projekto ekspertizę, tikrinama, ar projekto sprendiniai atitinka [3]:

- Esminius statinio reikalavimus ir kitus statinio, jo inžinerinių sistemų, statybos sklypo tvarkymo reikalavimus, nustatytus statybos teisės aktuose
- Statinių pritaikymo specifiniams invalidų poreikiams reikalavimus
- Statybos įstatymo nustatytus trečiųjų asmenų interesų apsaugos reikalavimus
- Statinyje planuojamos technologijos reikalavimai statinio, jo inžinerinių sistemų, statybos sklypo tvarkymo projektiniams sprendiniams priimti

Statinio ekspertizė atliekama tik kai įvyko statomo ar naudojamo statinio avarija ar yra nustatyta jos grėsmė, pastebėtos statinio deformacijos arba gautas statytojo (užsakovo) ar statinio naudotojo skundas, kad statinys neatitinka esminių reikalavimų. Statinio ekspertizės sudėtis tuo atveju, kai įvyko statinio avarija ar yra nustatyta jos grėsmė, pastebėtos statinio deformacijos, yra statinio (jo dalių, konstrukcijų, inžinerinių sistemų) techninės būklės patikrinimas ir įvertinimas, nustatant [3]:

- Atsiradusias ir prognozuojamas deformacijas, jų priežastis bei įvykusias ir prognozuojamas deformacijų pasekmes
- statinio avarijos, avarijos grėsmės (avarinės būklės) priežastis (statybos teisės aktų pažeidimai, nepatenkinama statinio normatyvinė kokybė, nepakankamos apimties statybiniai tyrinėjimai, pašaliniai veiksniai, netinkamas statinio naudojimas ir pan.) bei jų sukeltas ir prognozuojamas pasekmes

Statinio ekspertizės sudėtis tuo atveju, kai pažeisti esminiai statinio reikalavimai (vienas, keli ar visi), nustatyti Statybos įstatymo yra:

- Esminių statinio reikalavimų pažeidimų esmė ir priežastys, atsiradusios ir prognozuojamos pasekmės (statybos teisės aktų pažeidimai, nepatenkinama statinio normatyvinė kokybė, nepakankamos apimties statybiniai tyrinėjimai, pašaliniai veiksniai, netinkamas statinio naudojimas ir pan.) [3].

2. ARCHITEKTŪRINĖ DALIS

2.1. Bendrieji duomenys

Gamykla, kurioje bus gaminamos namo dalys, bei lauko indai yra statoma Molėtuose. Sklypo gruntas – molis. Minkšti rišlūs – molingi gruntai – tai ypatinga plati smulkių dalelių (<0,002 mm) gruntų grupė, susidedanti iš molio mineralų, kurie ir apibrėžia specifines “molingas” gruntų savybes. Gruntinio vandens lygis yra – 3.00 m. Sausio vidutinė temperatūra apie -4,5 °C, liepos 17,0 °C. Per metus iškrinta 650 mm kritulių. Statybos sklypo planas – 5238,00 m². Pati gamykla yra 48,6 m ilgio, 24 m pločio ir 11 m aukščio. Bendras gamyklos su administracinėmis patalpomis užstatymo plotas – 1365 m². Projektuojamas administracinės paskirties pastatas yra pritaikytas žmonėms su negalia.

2.2. Pastato planinis sprendimas

Pastato išplanavimas patogus bei funkcionalus, suteikiantis modernų pavidalą ir originalumo jausmą. Atitinkantis poreikių bei galimybių santykį, be jokių nenaudingų, tuščių erdvių ar neeksploatuojamų vietų. Vidus skoningai ir šiuolaikiškai įrengtas. Patalpų suskirstymas aukštuose buvo pasirinktas atsižvelgiant į statinio paskirtį. Pradedame pirmuoju aukštu: įėję pro lauko duris patenkame į pastato tambūrą (2,8 kv. m.), o perėję tambūrą patenkame į koridorių, iš kurio galime patekti į visas kitas esamas patalpas. Jis tęsiasi per visą administracinę patalpą ir užima apie (42,8 kv. m.). ir pažymėtas Nr.2. Paeiliui išilgai koridoriaus, kairėje pusėje išsirikiavę 3, 4, 5 Nr. pažymėtos patalpos, atitinkamai vyrų ir moterų WC (11,8 kv. m.), neįgaliųjų WC (7,5 kv. m), Konstruktorių-inžinierių kabinetas (36 kv. m). Kitoje pusėje išsidėstę patalpos pažymėtos Nr. 6, 7, 8 Tai yra: IT kabinetas (12,6 kv. m), Direktoriaus kabinetas (13,2 kv. m.) Konferencijų kabinetas (13,2 kv. m.) ir pačiame koridoriaus gale yra durys į pačias gamyklos patalpas (1156,8 kv. m.). Taip pat koridoriau pabaigoje yra ir laiptinė (Nr. 9), kurios dėka patenkame į antrąjį aukštą. Antrame aukšte įrengta 3D konstrukcijų eskizų bei ateities vizijų paroda (177,9 kv. m.).

2.3. Sklypo plano principiniai sprendimai

Projekto numatoma statybos vieta Molėtai. Statybos vietos gruntas yra molis. Bendras statinio sklypo plotas 5238 m². Įsigytas sklypas buvo tuščias, plynas laukas, kuris neturėjo nei pastatų nei medžių, jame buvo krūmai, kai kurie iš jų buvo pašalinti, o kai kurie palikti, inžinerinės komunikacijos (telefonija, bevielis internetas, elektra, vandentiekis, dujotekis, kanalizacija) buvo instaliuotos, nes jų nebuvo nutiesta iki numatytos statinio vietos. Želdiniai (8 medžiai, 2 krūmai) yra sodinami galutiniame sklypo sutvarkyme. Gamykla nuo artimiausios gatvės yra už 14 m 62,5 cm, artimiausias gyvenamas pastatas yra už 500 m. Įvažiavimas suprojektuotas iš Pietų (plotis 5 m). Želdiniai gausiausiai yra projektuojami iš Pietų ir Rytų pusių, gausi medžių eilė ir nedidelė

pievutė iš pietryčių pusės. Pėsčiųjų takų pločiai yra didesni nei 1,5 m. Stovėjimo aikštelės vietų automobiliams yra 25. Kiti sklypo rodikliai: užstatymo plotas – 1365 m², dangų plotas – 2732,56 m², apželdinimo plotas – 662,44 m², užstatymo tankumas sudaro 15% viso ploto, o apželdinimo koeficientas yra 18,44%.

2.4. Konstrukciniai pastato sprendimai

Pamatai.

Gamykloje klojami atskirieji surenkami pamatai. Jie naudojami karkasinės sistemos pastatams ir yra įrengti po visomis pastate esančiomis kolonomis. Jie įrengiami, kai veikiančios apkrovos per kolonas perduodamos į pamatus. Šie pamatai susideda iš taurės, papėdės ir pamatinės sijos. Moliuose gruntuose, svarbiausia neleisti moliui liestis su pamatais. Molinių gruntų poringumo koeficientas yra viena iš pagrindinių charakteristikų, naudojamų skaičiuojant pastatų nuosėdžius. Molingi gruntai nepasižymi tvirtu sąryšiu tarp dalelių bei yra savo fizinėmis mechaninėmis savybėmis labai įvairūs ir kaitūs. Minkšti rišlūs – molingi gruntai – tai ypatinga plati smulkių dalelių (<0,002 mm) gruntų grupė, susidedanti iš molio mineralų, kurie ir apibrėžia specifines “molingas” gruntų savybes. Moliais vadinami smulkūs nuosėdiniai gruntai, kuriuose yra ne mažiau 30% dalelių, kurių skersmuo mažesnis nei 0,002 mm. Jie pasižymi rišlumu ir plastingumu gamtinėje būsenoje ir dirbtinai juos sudrėkinus vandeniu, o išdžiūvus išlaiko suteiktą jiems formą. Iš visų molių požymių šie bruožai yra vieninteliai pastovūs ir lengvai atpažįstami. Moliniuose gruntuose hidrostatinė pusiausvyra nusistovi lėtai. Išorinė apkrova iš pradžių dalinai perduodama į vandenį, kuris užpildo grunto poras, todėl pasipriešinimas trinčiai šiuo momentu turi mažiausią dydį, o po to išspaudžiant liekaninį vandenį ir išsiurbiant porinį slėgį palaipsniui auga ir pasiekus hidrostatinę pusiausvyrą pasiekia maksimumą. Aišku, kad maksimalus pasipriešinimas ardymui tokiuose gruntuose, t.y. jų stiprumas, pasireiškia ne iš karto, o po kurio laiko. Kadangi šiame pastate nėra drenažo įrengiama visu pastato perimetru nuogrinda. Ji skirta nutekėti krituliams toliau nuo pastato, su 3% nuolydžiu, o ilgis – 500 mm.

Pamatai įgilinami 1,41 m. Pamato pado aukštis 300 mm, gaminamas iš C20/25 betono. Taurė statoma ant pamato pado, o į taurę įstatoma kolona. Nuo kiekvienos taurės vidinės kraštinės bei dugno palikta 50 mm tarpai, kad į juos būtų pripildoma nemažesnio nei C12/15 atsparumo (stiprio) smulkiagrūdžiu betonu sutvirtinimui.

Kolonos.

Kolonos bus dviejų skerspjūvių. Didžiausio skerspjūvio ir ilgio bus gamyklos patalpose, kartu su jomis bus montuojamos fachverko kolonos, kurios yra žymiai mažesnio skerspjūvio. Kolonų pamatų montavimas vykdytas suderinant ant pamato pažymėtas ašis su orientyrais,

užtvirtintais ant pagrindo. Kolonos pagaminamos iš C30/37 klasės betono, armuojamos paprastąja armatūra. Kolonų skerspjūvis 400 x 400 mm, kolonų ilgis 9 m, reikalingas kiekis: 18 vnt. Surenkamajai kolonai įstatyti pamate daromas lizdas. Tarp kolonos šonų ir lizdo sienelių paliekamas 50 mm tarpas lizdo viršuje ir 50 mm – apačioje. Įstačius koloną, tarpai tarp jos ir lizdo sienelių užpildomi smulkiagrūdžiu, ne žemesnės kaip C12/15 klasės betonu

Santvara.

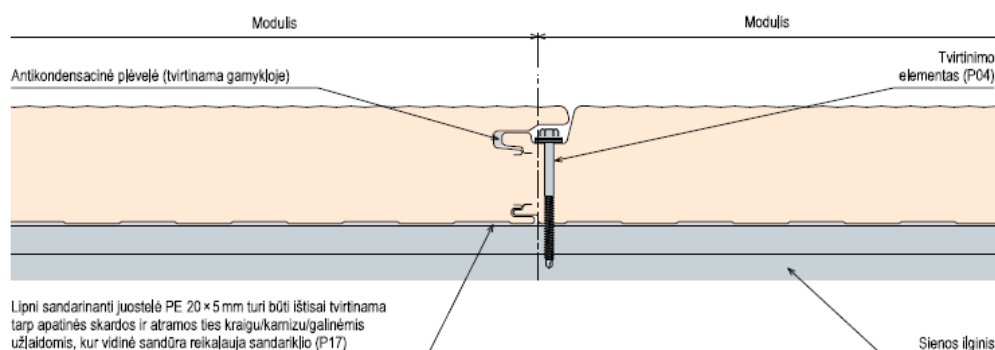
Gamykloje stogo laikančiosioms konstrukcijoms naudojamos metalinės santvaros, kurių matmenys: 24,0 x 2,4 m. Santvaros viršutinė juosta sudaryta iš 180x180x8 mm, apatinė juosta 160x160x6 mm, spyriai 100x100x4mm skerspjūvio keturkampių ir stačiakampių tuščiavidurių vamzdžių.

Santvaros elementai pagaminti iš S355 plieno klasės.

Sienos.

Gamyklinio pastato fasadams naudojama daugiasluoksnių plokščių KS1000 AWP sistema su paslėpta jungtimi. Šios plokštės bus montuojamos vertikaliai. Plokščių dengiamas plotas yra 1000mm, didžiausias aukštis 1100mm, storis 150mm. Daugiasluoksnės plokštės sudarytos iš dviejų plieno lakštų ir šiltinamuoju poliuretano sluoksniu.

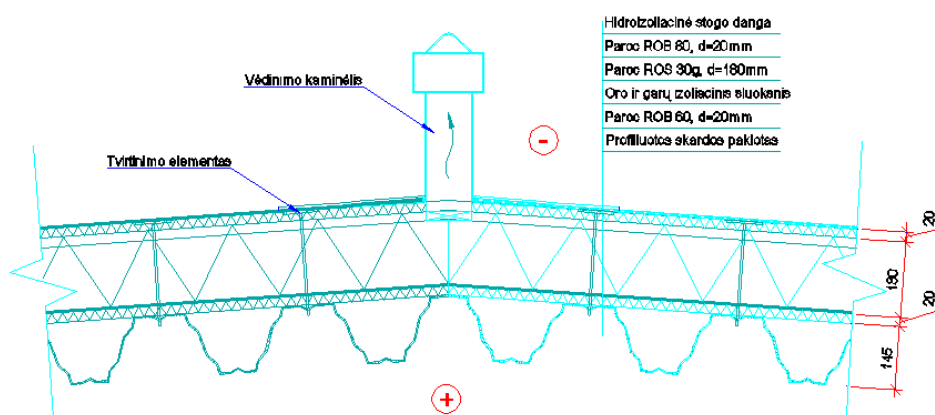
Plokščių plieno galvaninė apsauga karštu būdu cinkuotas plienas pagal standartą LST EN 10147:2000 (Konstrukcinių plienų juostos ir lakštai su cinkuota danga. Techninės tiekimo sąlygos). Išorinio lakšto storis 0,6mm. Išorinės dangos paviršius padengtas paprastu poliesteriu – PES. Poliesteris yra universali, ekonomiška paviršiaus danga, tinkama naudoti išorėje. Nominalus šios dangos storis yra 25 μm . Vidinė plieno danga yra padengta foodsafe. Ši 150 μm storio polimerinė danga yra netoksiška, atspari pelėsiui, patvari ir lengvai valoma. Ji yra chemiškai inertiška ir pastoviai kontaktuojant su nesupakuotais maisto produktais, nekelia pavojaus. Naudojama balta spalva. Taip pat plienas turi tenkinti šių standartų reikalavimus LST EN 10143:2000, LST EN 10142:2000 ir LST EN 10169:2011



2.4.1 pav. KS1000 AWP sistema su paslėpta jungtimi

Stogas.

Stogo konstrukcija – lengva, ant metalinių santvarų montuojama stogo danga iš profiliuotų skardos lakštų. Stogo nuolydis 4° , pastato denginys atlieka ir stogo laikančios konstrukcijos funkcijas bei naudojamos kaip viršutinio aukšto patalpų lubos. Stogui naudojama vidinė lietaus nuvedimo sistema, (vanduo nukreipiamas į pastato viduje sumontuotus lietaus kanalizacijos vamzdžius). Šiame projekte pro įlajas surenkamas vanduo nuvedamas į vandens surinkimo sistemą, taip ir pašalinamas pro ją. Taip pat atsižvelgiant į priešgaisrinius saugos reikalavimus, buvo įrengtos priešgaisrinės kopėčios, kurių pakopos prasideda nuo 1,8 m. Avarinės situacijos sumetimais jos įrengtos su aptvaru, tam, kad būtų saugiau.



2.4.2 pav. Stogo detalė gamyklinėse patalpose

1. Hidroizoliacinė dviejų sluoksnių prilydomoji stogo danga,
2. Kietas akmens vatos sluoksnis Paroc ROB 60 - 20 mm,
3. Akmens vatos sluoksnis Paroc ROB 30 - 180 mm,
4. Orą ir garus izoliuojantis sluoksnis 020 bas,
5. Akmens vatos sluoksnis Paroc ROB 60 - 20 mm,
6. Laikantysis profiliuotos skardos paklotas (cinkuoto plieno).

1. Stogo hidroizoliacinė dviejų sluoksnių prilydomoji danga vertinama varža:

$$R_1 = 0,019 [\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}];$$

2. Kietos mineralinės akmens vatos sluoksnis Paroc ROB 60 - 20 mm, deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas $\lambda_{\text{deklar}} = 0,039 [\text{W} / \text{m} \cdot \text{K}];$

Šilumos laidumo koeficiento patikslinimas dėl medžiagos įdrėkimo nevedinamoje atitvaroje:

$$\Delta h_w = 0,0019 [\text{W} / \text{m} \cdot \text{K}];$$

Patikslinimas dėl oro veikiančios konvekcijos;

$$\Delta h_k = \lambda_{deklar} \times K_{cv} = 0,039 \times 0,05 = 0,00195 \text{ [W / m}^2\text{K]}; \quad (2.4.1)$$

K_{cv} – šilumos konvekcijos poveikio koeficientas

Projektinė kietos vatos šilumos laidumo vertė:

$$\lambda_{ds} = \lambda_{deklar} + \Delta\lambda_w + \Delta\lambda_k = 0,039 + 0,0019 + 0,00195 = 0,0419 \text{ [W / m}^2\text{K]}; \quad (2.4.2)$$

Kietos akmens vatos šiluminė varža:

$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_{ds}} = \frac{0,019}{0,0419} = 0,478 \text{ [m}^2\text{K / W]}; \quad (2.4.3)$$

3. Minkštos mineralinės akmens vatos sluoksnis Paroc ROB 30 - 180 mm, deklaruojamas medžiagos šilumos laidumo koeficientas $\lambda_{deklar} = 0,036 \text{ [W / m}^2\text{K]};$

Šilumos laidumo koeficiento patikslinimas dėl medžiagos įdrėkimo atitvaroje:

$$\Delta h_w = 0,0019 \text{ [W / m}^2\text{K]};$$

Patikslinimas dėl oro veikiančios konvekcijos;

$$\Delta h_k = \lambda_{deklar} \times K_{cv} = 0,036 \times 0,05 = 0,00195 \text{ [W / m}^2\text{K]}; \quad (2.4.4)$$

Projektinė minkštos vatos šilumos laidumo vertė yra:

$$\lambda_{ds} = \lambda_{deklar} + \Delta\lambda_w + \Delta\lambda_k = 0,036 + 0,0019 + 0,00195 = 0,0398 \text{ [W / m}^2\text{K]}; \quad (2.4.5)$$

Kietos akmens vatos šiluminė varža:

$$R_3 = \frac{d_3}{\lambda_{ds}} = \frac{0,18}{0,0398} = 4,52 \text{ [m}^2\text{K / W]}; \quad (2.4.6)$$

4. Orą ir garus izoliuojančio sluoksnio šiluminė varža:

$$R_4 = 0,019 \text{ [m}^2\text{K / W]};$$

5. Kietos mineralinės akmens vatos sluoksnis Paroc ROB 60 - 20 mm, deklaruojamas šilumos laidumo koeficientas $\lambda_{deklar} = 0,039 \text{ [W / m}^2\text{K]};$

Šilumos laidumo koeficiento pataisa dėl medžiagos įdrėkimo nevėdinamoje atitvaroje:

$$\Delta h_w = 0,0019 \text{ [W / m}^2\text{K]};$$

Patikslinimas dėl oro veikiančios konvekcijos;

$$\Delta\lambda_k = \lambda_{deklar} \times K_{cv} = 0,039 \times 0,05 = 0,0019 \text{ [W / m}^2\text{K]}; \quad (2.4.7)$$

Projektinė šilumos laidumo vertė:

$$\lambda_{ds} = \lambda_{deklar} + \Delta\lambda_w + \Delta\lambda_k = 0,039 + 0,0019 + 0,0019 = 0,0419 \text{ [W / m}^2\text{K]}; \quad (2.4.8)$$

Kietos mineralinės vatos šiluminė varža:

$$R_5 = \frac{d_2}{\lambda_{ds}} = \frac{0,019}{0,0419} = 0,478 \text{ [m}^2\text{K / W]}; \quad (2.4.9)$$

Suminė visų stogo sluoksnių šiluminė varža:

$$R_{sum} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 = 0,019 + 0,478 + 4,52 + 0,019 + 0,478 = 5,52 \text{ [m}^2\text{K/W]} \quad (2.4.10)$$

$$R_t = R_{si} + R_s + R_{se} = 0,13 + 5,52 + 0,1 = 5,75 [\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}]; \quad (2.4.11)$$

Stogo šilumos perdavimo koeficientas:

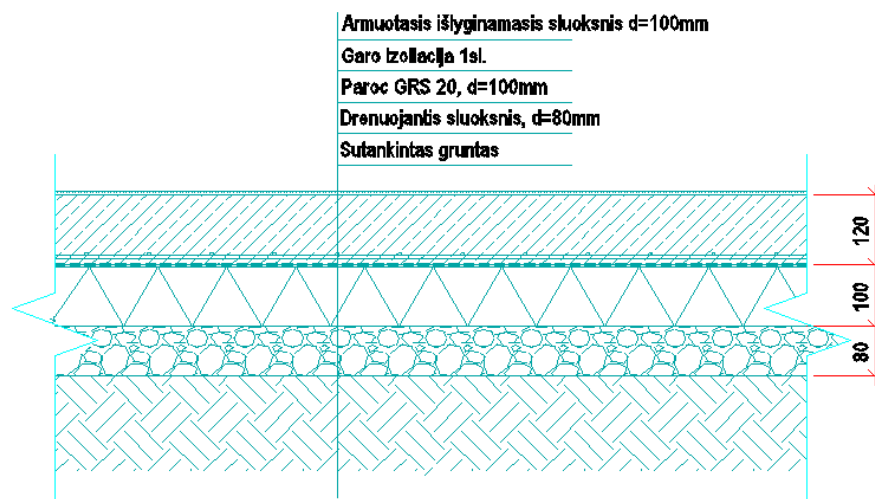
$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{5,75} = 0,171 [\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}]. \quad (2.4.12)$$

Išvada: Gautas stogo šilumos perdavimo koeficientas neviršija norminio $U_N = 0,20 [\text{W} / \text{m}^2 \cdot \text{K}]$

Grindys.

Gamyklos patalpose grindų pagrindas sudarytas iš sutankinto grunto, ant kurio įrengiamas drenuojantis sluoksnis kurio storis 80 mm. Ant šio sluoksnio dedamas šilumos izoliacinis sluoksnis, Paroc GRS 20, kurio storis 100 mm. Toliau ant jo dedama garo izoliacija 1sl. Tuomet išklojamas armatūrinis tinklas ir liejama 120 mm storio betono sluoksnis kaip pavaizduota pav. Nr. 4.

Grindų viršutinė danga gamybinėse patalpose – betonas su priedais, didinančiais atsparumą mechaniniams poveikiams.



2.4.3 pav. Grindų detalė gamybinėse patalpose

2.5. Langai, durys, vartai

Vidinės durys – tai durys, esančios pastato viduje. Pasirinkti matmenys, atsižvelgiant į patalpų plotą bei reikalingą erdvę praėjimui viduje. Durys viduje 900×2100 mm ir 1000×2100 (neįgalųjų tualete). Visos vidinės durys yra pagamintos iš PVC profilių. Jų funkcionalumą užtikrina šiuolaikinė patikima ir sustiprinta furnitūra.

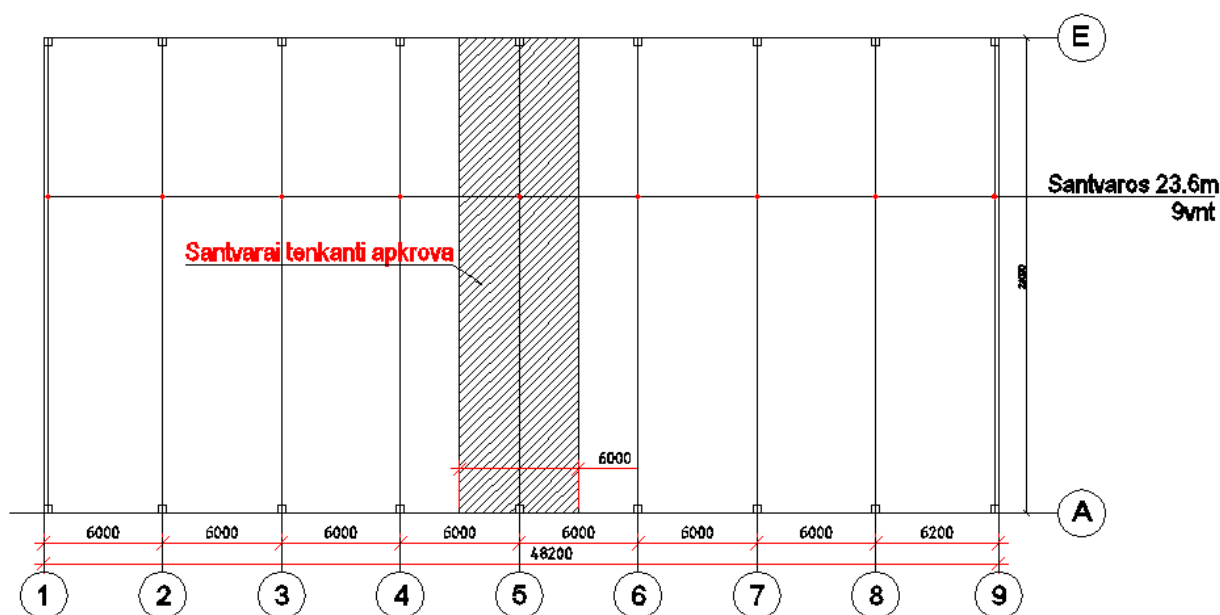
Lauko durys – visos lauro durys yra iš aliuminio profilio. Aliuminio lauro durys yra atsparios aplinkos poveikiui ir korozijai. Jos ištvėria dažną varstymą ir staigius temperatūros bei drėgmės pokyčius, nebijo stipresnių sutrenkimų ar įbrėžimų.

Vartai – automatiniai vartai yra 3,5m pločio ir 4,5 m aukščio. Vartų struktūra yra specialiai sustiprinta, kad užtikrintų patikimumą ir funkcionalumą esant tokiems matmenims. Vartai yra gaminami ir pritaikomi dažnam vartojimui. Jų struktūra garantuoja iki 100 000 sklandžių atidarymo/uždarymo ciklų.

3. KONSTRUKCINĖ DALIS

3.1. Elementų parinkimas ir išdėstymas

Skaičiuojama metalinė stogo santvara. Paveiksle pavaizduota apkrova tenkanti 1m².



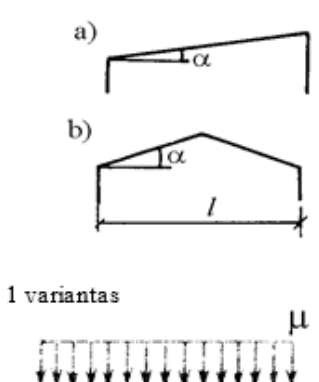
3.1.1 pav. Santvarų išdėstymas

3.2. Apkrovų skaičiavimas

Pastatas projektuojamas Molėtuose, kuris yra II-ame sniego apkrovos rajone, todėl [5]:

$$S_k = 1,6kN/m^2$$

Sniego skaičiuojamoji schema:

Schemos Nr.	Stogų profiliai ir sniego apkrovų schemas	Koeficientai μ ir schemų taikymo sritis
1.	Statiniai su vienišlaičiais ir dvišlaičiais stogais 	$\mu = 1$, kai $\alpha \leq 25^\circ$; $\mu = 0$, kai $\alpha \geq 60^\circ$. 2 ir 3 variantus reikia įvertinti statiniams su dvišlaičiais stogais (profilis b), be to, 2 variantas – kai $20^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$; 3 variantas – kai $10^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$, tik esant apžiūros tilteliams arba aeracinei įrangai ant stogo kraigo.

3.2.1 pav. Skaičiuojamoji schema

Sniego apkrova skaičiuojama:

$$s_k = \mu \times C_e \times C_t \times s_k = 1 \times 1 \times 1 \times 1,6 \text{ kN/m}^2 \quad (3.2.1)$$

čia: μ - stogo sniego apkrovos formos koeficientas, $\mu = 1,0$, kai $\alpha < 25^\circ$

C_e - atodangos koeficientas,

C_t - terminis koeficientas, priklausantis nuo energijos nuostolių per stogą ar kitos terminės įtakos.

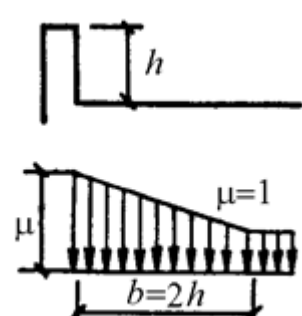
$C_t = 1,0$.

Santvarai tenkanti apkrova dėl sniego poveikio:

$$Q_{snieg} = s_k \times A = 1,6 \text{ kN/m}^2 \times 6 \text{ m} = 9,6 \text{ kN/m} \quad (3.2.2)$$

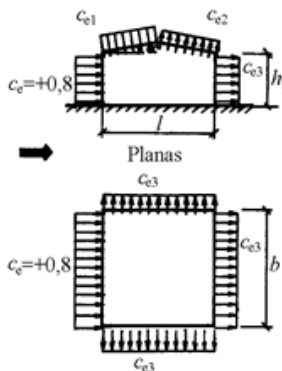
Sniego apkrova ties parapetais:

$$s = 1,25 \times 1 \times 1 \times 1,6 = 2 \text{ kN/m}^2 \quad (3.2.3)$$

	Schemą reikia taikyti, kai $h > \frac{s_k}{2}$ (kur h – m, s_k – kPa); $\mu = \frac{2h}{s_k}$, bet ne daugiau kaip 3.
---	--

3.2.2 pav. Stogo su parapetais schema

Vėjo skaičiuojamoji schema:

S chemos Nr.	Statinių, pastatų, konstrukcijų ir vėjo apkrovų schemos	Aerodinaminių koeficientų c apskaičiavimas																																																				
1.	Atskirai stovinčios plokščiosios ištisinės konstrukcijos Vertikalūs ir ne daugiau kaip 15° nuo vertikalės pasvirę paviršiai: priešvėjinis pavėjinis	$c_e=+0,8$ $c_e=-0,6$																																																				
2.	Pastatai su dvišlaičiu stogu 	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Koeficientas</th> <th rowspan="2">$\alpha, ^\circ$</th> <th colspan="4">c_{e1}, c_{e2} reikšmės, kai h_1/l lygus</th> </tr> <tr> <th>0</th> <th>0,5</th> <th>1</th> <th>≥ 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">c_{e1}</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>-0.6</td> <td>-0.7</td> <td>-0.8</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>+0.2</td> <td>-0.4</td> <td>-0.7</td> <td>-0.8</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>+0.4</td> <td>+0.3</td> <td>-0.2</td> <td>-0.4</td> </tr> <tr> <td>60</td> <td>+0.8</td> <td>+0.8</td> <td>+0.8</td> <td>+0.8</td> </tr> <tr> <td>c_{e2}</td> <td>≤ 60</td> <td>-0.4</td> <td>-0.4</td> <td>-0.5</td> <td>-0.8</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">b/l</th> <th colspan="3">c_{e3} reikšmės, kai h_1/l lygus</th> </tr> <tr> <th>≤ 0.5</th> <th>1</th> <th>≥ 2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤ 1</td> <td>-0.4</td> <td>-0.5</td> <td>-0.6</td> </tr> <tr> <td>≥ 2</td> <td>-0.5</td> <td>-0.6</td> <td>-0.6</td> </tr> </tbody> </table>	Koeficientas	$\alpha, ^\circ$	c_{e1}, c_{e2} reikšmės, kai h_1/l lygus				0	0,5	1	≥ 2	c_{e1}	0	0	-0.6	-0.7	-0.8	20	+0.2	-0.4	-0.7	-0.8	40	+0.4	+0.3	-0.2	-0.4	60	+0.8	+0.8	+0.8	+0.8	c_{e2}	≤ 60	-0.4	-0.4	-0.5	-0.8	b/l	c_{e3} reikšmės, kai h_1/l lygus			≤ 0.5	1	≥ 2	≤ 1	-0.4	-0.5	-0.6	≥ 2	-0.5	-0.6	-0.6
Koeficientas	$\alpha, ^\circ$	c_{e1}, c_{e2} reikšmės, kai h_1/l lygus																																																				
		0	0,5	1	≥ 2																																																	
c_{e1}	0	0	-0.6	-0.7	-0.8																																																	
	20	+0.2	-0.4	-0.7	-0.8																																																	
	40	+0.4	+0.3	-0.2	-0.4																																																	
	60	+0.8	+0.8	+0.8	+0.8																																																	
c_{e2}	≤ 60	-0.4	-0.4	-0.5	-0.8																																																	
b/l	c_{e3} reikšmės, kai h_1/l lygus																																																					
	≤ 0.5	1	≥ 2																																																			
≤ 1	-0.4	-0.5	-0.6																																																			
≥ 2	-0.5	-0.6	-0.6																																																			

3.2.3 pav. Pastatų su dvišlaičiu stogu vėjo apkrovų schemos

Pagal STR 2.05.04:2003 "Poveikiai ir apkrovos" Molėtai priklauso I vėjo greičio rajonui, vietovės tipas – B (B – miestų teritorijos, miškų masyvai ir kitos vietovės, kurios yra tolygiai užstatytos aukštesnėmis kaip 10 m kliūtimis). Šiam rajonui vėjo greičio pagrindinė atskaitinė

reikšmė; $v_{ref,0} = 24 \frac{m}{s}$;

Atskaitinis vėjo greitis bus lygus:

$$v_{ref} = C_{DIR} \times C_{TEM} \times C_{ALT} \times v_{ref,0} = 1 \times 1 \times 1 \times 24 = 24 m/s \quad (3.2.4)$$

Čia: C_{DIR} – krypties koeficientas, lygus 1,0;

C_{TEM} – laikotarpio (sezono) koeficientas, lygus 1,0;

C_{ALT} – aukščio virš jūros lygio koeficientas, lygus 1,0.

Atskaitinis vėjo greitis apskaičiuojamas:

$$v_{ref} = C_{DIR} \times C_{TEM} \times C_{ALT} \times v_{ref,0} = 1 \times 1 \times 1 \times 24 = 24 m/s$$

Atskaitinis vėjo slėgis apskaičiuojamas:

$$q_{ref} = \frac{q}{2} \times v_{ref}^2 = \frac{1,25}{2} = 24^2 = 360 \frac{N}{m^2} = 0,36 \frac{kN}{m^2} \quad (3.2.5)$$

Vidutinė slėgio į išorinius konstrukcijos paviršius dedamoji:

$$W_{me} = q_{ref} \times c(z) \times c_e \quad (3.2.6)$$

čia: q – oro tankis $1,25 \text{ kg/m}^3$.

Nustatantinėjant vėjo apkrovos dedamąją W_{me} , būtina taikyti aerodinaminio koeficiento reikšmę išoriniam slėgiui C_e . Tarpinės apkrovos reikšmės suinterpoliavus: $c_{e1} = -0,464$; $c_{e2} = -0,4$; $c_{e3} = -0,5$. Kadangi projektuojamo pastato aukštis 10 m , o priimtos vietovės tipas B, tai $c(z) = 0,65$.

$$w_{me}^{ce} = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_e = 0,36 \times 0,65 \times (0,8) = 0,1872 \text{ (kN/m}^2\text{)}; \quad (3.2.7)$$

$$w_{me}^{ce3} = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_e = 0,36 \times 0,65 \times (-0,5) = -0,117 \text{ (kN/m}^2\text{)}; \quad (3.2.8)$$

$$w_{me}^{ce1} = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_e = 0,36 \times 0,65 \times (-0,464) = -0,1086 \text{ (kN/m}^2\text{)}; \quad (3.2.9)$$

$$w_{me}^{ce2} = q_{ref} \cdot c(z) \cdot c_e = 0,36 \times 0,65 \times (-0,4) = -0,0936 \text{ (kN/m}^2\text{)}; \quad (3.2.10)$$

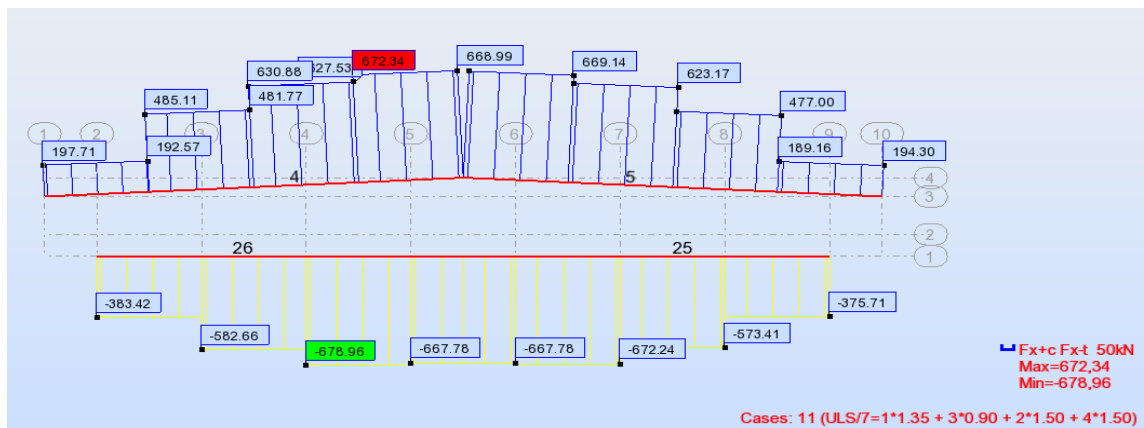
Stogo konstrukcijos apkrova

3.2.1 lentelė. Stogo konstrukcijos savojo svorio apkrovos.

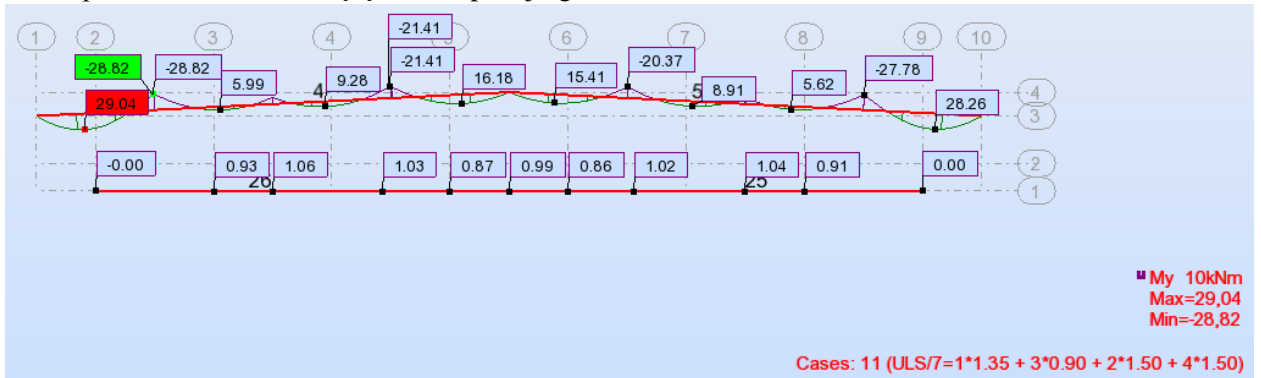
Nr.	Pavadinimas	Storis, <i>mm</i>	Būdingoji apkrova, <i>kN/m</i> ²	Dalinis patikimumo koeficientas <i>γ_G, γ_Q</i>	Skaičiuojamoji apkrova, <i>N/m</i> ²
Apkrovos pridedamos į viršutinę santvaros juostą					
1.	Apkrovos laikantis lakštai T130M-75L-930	-	0,09	1,35	0,1215
2.	Garo izoliacija iš PE plėvelės	-	0,001	1,35	0,0014
3.	Termoizoliacija iš mineralinės vatos „Paroc Ros 30“	180	0,261	1,35	0,352
4.	Termoizoliacija iš mineralinės vatos „Paroc Rob 80“	2*20	2*0,05	1,35	0,135
5.	Ritininė stogo danga, dviejų sluoksnių: „Mida Technoelast PV S5s ir PV S5b“	10	0,11	1,35	0,1485
7.	Ventiliacijos, apšvietimo ir reikalingi ryšiai	-	0,43	1,35	0,58
Nuolatinė suminė apkrova veikianti viršutinę santvaros juostą G_k :			0,962	-	1,298

Apkrovos pridedamos į apatinę santvaros juostą.					
8.	Ventiliacijos, apšvietimo, lubų, sprinklinės ir kitos sistemos	-	0,2	1,35	0,27
Nuolatinė suminė apkrova veikianti apatinę santvaros juostą G_k :			0,2	-	0,27
9.	Sniegas (II sniego apkrovos rajonas)	-	1,6	1,5	1,8
Suminė nuolatinė ir sniego apkrova veikianti santvaros konstrukciją G_{dl}:					3,37

3.3. Santvaros elementų skaičiavimas



3.3.1 pav. Santvaros ašinės įrašos nuo pavojingiausio derinio (ULS/7 = 1*1.35 + 3*0.9 + 2*1.5 + 4*1.5)



3.3.2 pav. Santvaros lenkimo momentai nuo pavojingiausio derinio (ULS/7 = 1*1.35 + 3*0.9 + 2*1.5 + 4*1.5)



3.3.3 pav. Santvaros ašinės įrašos nuo pavojingiausio derinio (ULS/7 = 1*1.35 + 3*0.9 + 2*1.5 + 4*1.5)

Irašų lentelė:

3.3.1 lentelė. Santvaros elementus veikiančios didžiausios įrašos.

Santvaros elementas	Elemento numeris	Derinys	Maksimalios skaičiuojamosios įrašos	
			N_{ED}, kN	M_{ED}, kNm
Viršutinė juosta	4	ULS/7	672,34	29,04
	5		669,14	28,26
Apatinė juosta	26	ULS/7	-678,96	1,05
	25		-667,76	1,04
Spyriai	3	ULS/7	-321,69	-
	20		311,95	-
	19		-174,95	-
	18		170,53	-
	17		-88,76	-
	16		86,31	-
	15		10,21	-
	14		-10,79	-
	13		-4,73	-
	12		4,02	-
	11		88,33	-
	10		-90,84	-
	9		168,96	-
	8		-173,37	-
7	305,46	-		
6	-315,24	-		

3.3.1. Santvaros viršutinės juostos skaičiavimas

Pagal pavojingiausia derinį *ULS/7* viršutinė santvaros juosta veikiama gniuždančios ašinės jėgos $N_{Ed} = 672,34 \text{ kN}$, ir lenkimo momento $M_{Ed} = 29,04 \text{ kNm}$.

Santvaros viršutinė juosta projektuojama iš šaltai valcuotu kvadratinų profilių $180 \times 180 \times 8 \text{ mm}$, kurio charakteristikos iš [4] lentelių: skerspjūvio plotas $A = 52,8 \text{ cm}^2$ skerspjūvio atsparumo momentai $W_{el,y} = 254,6 \text{ cm}^3$ inercijos spindulys $i_y = 6,94 \text{ cm}$. Plieno klasė S355, $f_y = 355 \text{ Mpa}$.

Skaičiuotinis elemento stipris pagal Reglamento [6] 6.3 lentelę:

$$f_{y,d} = \frac{f_{y,d}}{\gamma_M} = \frac{355}{1,1} = 322,73 \text{ Mpa} \quad (3.3.1.1)$$

Saugos ribinio būvio tikrinimas rėmo plokštumoje

Skaičiuojamasis santvaros viršutinės juostos ilgis tarp tvirtinimo taškų pagal Reglamento [6] 7.1 lentelę: $l_{eff,y} = l = 3 \text{ m}$

Elemento liaunis:

$$\lambda_y = \frac{l_{eff,y}}{i_y} = \frac{300}{6,94} = 43,22 \quad (3.3.1.2)$$

Sąlyginis elemento liaunis:

$$\bar{\lambda} = \lambda_y \times \sqrt{\frac{f_{y,d}}{E}} = 43,22 \times \sqrt{\frac{322,73 \times 10^{-3}}{210}} = 1,7 \quad (3.3.1.3)$$

čia: E – plieno tamprumo modulis, randamas pagal Reglamento [7] 6,4 lentelę, E = 210 Gpa

Ašinės jėgos ekscentricitetas:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{29,04}{672,34} = 0,043m \quad (3.3.1.3)$$

Santykinis ekcentricitetas pagal Reglamento [6] 82 punktą:

$$e_{rel} = \frac{e \times A}{W_c} = \frac{0,043 \times 52,8 \times 10^{-4}}{254,6 \times 10^{-6}} = 0,89 \quad (3.3.1.4)$$

Tuomet skerspjūvio formos koeficientas pagal Reglamento [6] 7.6 lentelę, kai skaičiavimai atliekami pagal Reglamento [7] III skyrių. Skerspjūvio formos koeficientas, pagal Reglamento [6] 7.6 lentelę kai $0 \leq \bar{\lambda} = 1,7 \leq 5$ ir: $0,1 \leq e_{rel} = 0,89 \leq 5$;

$$\begin{aligned} k_{shape} &= (1,35 - 0,05 \times e_{rel}) - 0,01 \times (5 - e_{rel}) \bar{\lambda} \\ &= (1,35 - 0,05 \times 0,89) - 0,01 \times (5 - 0,89) \times 1,7 = 1,23 \end{aligned} \quad (3.3.1.5)$$

Santykinis lyginamasis ekscentricitetas:

$$e_{rel,eff} = k_{shape} \times e_{rel} = 1,23 \times 0,89 = 1,09 \quad (3.3.1.6)$$

Klupumo koeficientas pagal Reglamento [6] 1 priedo 2 lentelę interpoliuojant, kai $\bar{\lambda} = 1,7$ ir $e_{rel,eff} = 1,09$ tai $\varphi_e = 0,588$

Tuomet ekscentriškai gniuždomo elemento pastovumo atsparis lenkimo plokštumoje:

$$N_{NM,c,Rd} = \varphi_e \times A \times f_{y,d} \times \gamma_c = 0,558 \times 52,8 \times 322,73 \times 0,9 \times 10^{-1} = 855,75kN \quad (3.3.1.7)$$

čia: γ_c – darbo sąlygų koeficientas, pagal Reglamento [6] 7.1 lentelę, $\gamma_c = 0,9$

Ekscentriškai gniuždomų ir gniuždomųjų-lenkiamųjų pastoviojo skerspjūvio elementų pastovumas momento veikimo plokštumoje, sutampančioje su simetrijos plokštuma, tikrinamas pagal formulę:

$$\alpha = \frac{N_{Ed}}{N_{NM,c,Rd}} = \frac{672,34}{855,75} = 0,78 \leq 1,0 \quad (3.3.1.8)$$

Neišnaudojimo atsarga:

$$\Delta = \frac{N_{NM,c,Rd} - N_{Ed}}{N_{NM,c,Rd}} \times 100\% = \frac{855,75 - 672,34}{855,75} \times 100\% = 21,4\% \quad (3.3.1.9)$$

Santvaros viršutinės juostos ribinis liaunis pagal Reglamento [6] 7.18 lentelę:

$$\lambda_u = 180 - 60\alpha = 180 - 60 \times 0,78 = 133,2 \quad (3.3.1.10)$$

Išvada: Viršutinės juostos atsparis lenkimo (rėmo) plokštumoje pakankamas. Atsarga 21,4% tačiau ekonomiškumo kriterijai netenkinami ($\Delta 21,4\% > 5\%$). Liaunis neviršija ribinio liaunio $\lambda_y = 43,22 \leq \lambda_u = 133,2$.

Saugos ribinio būvio tikrinimas iš rėmo plokštumos

Skerspjūvio atsparumo momentai $W_{el,z} = 254,6$ inercijos spindulys $i_z = 6,94$

Skaičiuojamasis santvaros viršutinės juostos ilgis tarp tvirtinimo taškų pagal Reglamento [7] 7.1 lentelę: $l_{eff,z} = l_1 = 5,93m$ (ryšiai viduryje santvaros).

Elemento liaunis:

$$\lambda_z = \frac{l_{eff,z}}{i} = \frac{593}{6,94} = 85,4 \quad (3.3.1.11)$$

Sąlyginis elemento liaunis:

$$\bar{\lambda} = \lambda_z \times \sqrt{\frac{f_{y,d}}{E}} = 85,4 \times \sqrt{\frac{322,73 \times 10^{-3}}{210}} = 3,34 \quad (3.3.1.12)$$

Strypų lanksčiai (šarnyriškai) įtvirtintais galais, sutvirtintų nuo pasislinkimo statmenai momento veikimo plokštumai, – didžiausiam momentui strypo ilgio viduriniame trečdalyje, bet ne mažiau kaip pusė didžiausio visame strypo ilgyje veikiančio momento:

$$M_{z,Ed} = \frac{M_{Ed}}{2} = \frac{29,04}{2} = 14,52kNm \quad (3.3.1.13)$$

Ekscentricitetas naudojamas skaičiuojant pastovumą iš rėmo plokštumos:

$$e_z = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{14,52}{672,34} = 0,0216m \quad (3.3.1.14)$$

Santykinis ekscentricitetas:

$$e_{rel} = \frac{e_z \times A}{W_c} = \frac{0,0216 \times 52,8 \times 10^{-4}}{254,6 \times 10^{-6}} = 0,447. \quad (3.3.1.15)$$

Liaunis:

$$\lambda_c = 3,14 \sqrt{\frac{E}{f_{y,d}}} = 3,14 \times \sqrt{\frac{210 \times 10^3}{322,73}} = 80,10. \quad (3.3.1.16)$$

Kadangi, $\lambda_z = 85,4 > \lambda_c = 80,10$ tai pagal koeficientas pagal Reglamento [6] 7.8 lentelę

$$\beta = \sqrt{\frac{\phi_c}{\phi_z}} = \sqrt{\frac{0,638}{0,563}} = 1,06. \quad (3.3.1.17)$$

čia: ϕ_c, ϕ_z – klupumo koeficientai nustatomi pagal Reglamento [6] 58 punktą.

Kai $2,5 < \bar{\lambda}_z = 3,34 \leq 4,5$,

$$\begin{aligned}\varphi_z &= 1,47 - 13,0 \times \frac{f_{y,d}}{E} - (0,371 - 27,3 \frac{f_{y,d}}{E}) \bar{\lambda}_z + \left(0,0275 - 5,53 \frac{f_{y,d}}{E} \right) \bar{\lambda}_z^2 \\ &= 1,47 - 13,0 \times \frac{322,73 \times 10^{-3}}{210} - \left(0,371 - 27,3 \frac{322,73 \times 10^{-3}}{210} \right) \\ &\times 3,34 + \left(0,0275 - 5,53 \frac{322,73 \times 10^{-3}}{210} \right) \times 3,34^2 = 0,563\end{aligned}\quad (3.3.1.18)$$

$$\bar{\lambda}_c = \lambda_c \times \sqrt{\frac{f_{y,d}}{E}} = 80,10 \times \sqrt{\frac{322,73 \times 10^{-3}}{210}} = 3,14 \quad (3.3.1.19)$$

Kai $2,5 < \bar{\lambda}_z = 3,14 \leq 4,5$,

$$\begin{aligned}\varphi_z &= 1,47 - 13,0 \times \frac{f_{y,d}}{E} - (0,371 - 27,3 \frac{f_{y,d}}{E}) \bar{\lambda}_z + \left(0,0275 - 5,53 \frac{f_{y,d}}{E} \right) \bar{\lambda}_z^2 \\ &= 1,47 - 13,0 \times \frac{322,73 \times 10^{-3}}{210} - \left(0,371 - 27,3 \frac{322,73 \times 10^{-3}}{210} \right) \\ &\times 3,14 + \left(0,0275 - 5,53 \frac{322,73 \times 10^{-3}}{210} \right) \times 3,14^2 = 0,638\end{aligned}\quad (3.3.1.20)$$

Kadangi $e_{rel,z} = 0,447 < 5,0$, tai koeficientas pagal Reglamento [6] 86 punktą:

$$c = \frac{\beta}{1 + \alpha \times e_{rel,z}} = \frac{1,06}{1 + 0,6 \times 0,447} = 0,836. \quad (3.3.1.21)$$

čia: β – koeficientas pagal Reglamento [6] 7.8 lentelę;

α – koeficientas pagal Reglamento [6] 7.8 lentelę kai $e_{rel,z} = 0,447 < 1,0$, $\alpha = 0,6$.

Skaičiuotinis ekscentriškai gniuždomo elemento lenkiamasis-sukamasis pastovumo atsparis apskaičiuojamas taip:

$$\begin{aligned}N_{NM,TF,Rd} &= \varphi_z \times c \times A \times f_{y,d} \times \gamma_c = 0,563 \times 0,836 \times 52,8 \times 322,73 \times 10^{-1} \times 0,9 \\ &= 704kN\end{aligned}\quad (3.3.1.22)$$

Ekscentriškai gniuždomų pastoviojo skerspjūvio elementų pastovumas iš momento veikimo plokštumos, lenkiant juos didžiausio standumo plokštumoje ($I_y > I_z$), sutampančioje su simetrijos plokštuma, tikrinamas pagal formulę:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{NM,TF,Rd}} = \frac{672,34}{704} = 0,955 \leq 1,0. \quad (3.3.1.23)$$

Neišnaudojimo atsarga:

$$\Delta = \frac{N_{NM,TF,Rd} - N_{Ed}}{N_{NM,TF,Rd}} \times 100\% = \frac{704 - 672,34}{704} \times 100\% = 4,51\%. \quad (3.3.1.24)$$

Santvaros viršutinės juostos ribinis liaunis pagal Reglamento [6] 7.18 lentelę:

$$\lambda_u = 180 - 60\alpha = 180 - 60 \times 0,955 = 123,6 \quad (3.3.1.25)$$

Išvada: viršutinės juostos pastovumas iš rėmo plokštumos pakankamas. Atsarga 4,51% tenkina ekonomiškumo kriterijų ($\Delta = 4,51\% < 5\%$). Liaunis neviršija ribinio liaunio

$$\lambda_z = 85,4 \leq \lambda_u = 123,6.$$

3.3.2. Santvaros apatinės juostos skaičiavimas

Pagal pavojingiausią derinį, kuris yra ULS / 7 apatinė santvaros juosta (elementai Nr. 25 ir 26) veikiami tempiamos ašinės jėgos $N_{Ed} = 678,96$ kN.

Santvaros apatinė juosta konstruojama iš šaltai valcuotu kvadratinų profilių 160 x 5 mm, kurio charakteristika imama iš [4] lentelių: skerspjūvio plotas $A = 30,4$ cm² inercijos spindulys $i = i_y = i_z = 12,04$ cm Plieno klasė S355, $f_y = 355$ MPa

Skaičiuotinio ašinės jėgos veikiamo skerspjūvio stiprumo atspario pagal takumo ribą reikšmė apskaičiuojama taip:

$$N_{pl.Rd} = A_{net} \times f_{y,d} \times \gamma_c = 30,4 \times 322,73 \times 10^{-1} \times 0,9 = 883 \text{ kN}. \quad (3.3.2.1)$$

Tikrinant centriškai tempiamojo elemento bet kurio skerspjūvio stiprumą, turi būti tenkinama sąlyga:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl.Rd}} = \frac{678,96}{883} = 0,76 \leq 1,0. \quad (3.3.2.2)$$

Neišnaudojimo atsarga:

$$\Delta = \frac{N_{pl.Rd} - N_{Ed}}{N_{pl.Rd}} \times 100\% = \frac{883 - 678,96}{883} \times 100\% = 23,1\%. \quad (3.3.2.3)$$

Išvada: Apatinės santvaros juostos stiprumas yra pakankamas 23,1% atsarga netenkina ekonomiškumo kriterijų ($\Delta = 23,1\% > 5\%$). Mažesnio skerspjūvio priimti negalime dėl siūlių jungiančių flanšą su profilių atspario.

3.3.3. Santvaros tinkliuko skaičiavimas

Santvaros tinkliuką sudaro spyriai. Santvaros elementuose veikia ašinės gniuždančios bei tempiančios jėgos. Projektuodami santvaros tinkliuką stengiamės kiek įmanoma priderinti prie veikiančių įrašų, kad elementai būtų maksimaliai išnaudojami ir turėtume kuo mažiau skirtingų skerspjūvių ir kad būtų tenkinamos sąlygos $b_0 / b_i = 0,9 - 0,6$ ir $t_0 / t_i \leq 3$. Čia t_0 – sienutės storiausio elemento storis, tai šiuo atveju yra 8 mm; b_0 – didžiausio elemento plotis, tai šiuo atveju yra $b_0 = 0,18$. Spyrių mažiausias plotis yra $b_i = 0,6 \times b_0 = 0,6 \times 0,18 = 0,1m$.

Ekcentriškai tempiami tinkliuko santvaros elementai skaičiuojami, kaip apatinės santvaros juosta. Skaičiavimus pateiksime lentelės pavidalų, o centriškai gniuždomų el.

skaičiavimą parodysime tik keliems pavojingiausiems spyriams, kuriuose veikia didžiausios įrašos (elemente Nr. 3).

Saugos ribinio būvio tikrinimas rėmo plokštumoje (spyris Nr. 3)

Pagal patį pavojingiausia derinį ULS / 7 didžiausia gniuždanti įraša veikia tinkliuko elementą (Nr. 3 – trečias spyris) veikiamą didžiausia gniuždanti ašinė jėga $N_{Ed} = 321,69$ kN.

Santvaros tinkliuko spyriai projektuojamas iš šaltai valcuoto kvadratinio profilių, kurie yra 100 x 6 mm, kurio charakteristikos iš [4] lentelių: skerspjūvio plotas $A = 21,6$ cm², skerspjūvio atsparumo momentai $W_{el} = W_{el,y} = W_{el,z} = 62,3$ cm³, Inercijos spindulys $i = i_y = i_z = 3,79$ cm. Plieno klasė S355, $f_y = 355$ MPa.

Skaičiuotinio ašinės jėgos veikiamo skerspjūvio stiprumo atspario pagal takumo ribą reikšmė apskaičiuojama taip:

$$N_{pl.Rd} = A_{net} \times f_{y,d} \times \gamma_c = 21,6 \times 322,73 \times 10^{-1} \times 0,9 = 627,4 \text{ kN}. \quad (3.3.3.1)$$

Tikrinant centriškai gniuždomojo elemento bet kurio skerspjūvio stiprumą, turi būti tenkinama sąlyga:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl.Rd}} = \frac{321,69}{627,4} = 0,513 \leq 1,0. \quad (3.3.3.2)$$

Skaičiuojamasis santvaros tinkliuko ilgis tarp tvirtinimo taškų pagal Reglamento [7] 7.1 lentelę: $l_{eff,y} = 0,8l = 0,8 \times 2,42 = 1,94$ m.

Elemento liaunis:

$$\lambda_y = \frac{l_{eff,y}}{i_y} = \frac{194}{3,79} = 51,2 \quad (3.3.3.3)$$

Sąlyginis elemento liaunis:

$$\bar{\lambda} = \lambda_y \times \sqrt{\frac{f_{y,d}}{E}} = 51,2 \times \sqrt{\frac{322,73 \times 10^{-3}}{210}} = 2 \quad (3.3.3.4)$$

Klupumo koeficientas pagal Reglamento [6] 58 punktą kai, $0 < \bar{\lambda} = 2 \leq 2,5$,

$$\begin{aligned} \varphi &= 1 - \left(0,073 - 5,53 \frac{f_{y,d}}{E} \right) \bar{\lambda} \sqrt{\bar{\lambda}} \\ &= 1 - \left(0,073 - 5,53 \frac{322,73 \times 10^{-3}}{210} \right) 2 \sqrt{2} = 0,817. \end{aligned} \quad (3.3.3.5)$$

Skaičiuotinio centriškai gniuždomo elemento pastovumo atspario reikšmė, apskaičiuojama taip:

$$N_{c,Rd} = \varphi_e \times A \times f_{y,d} \times \gamma_c = 0,817 \times 21,6 \times 322,73 \times 0,9 \times 10^{-1} = 512,57kN \quad (3.3.3.6)$$

Tikrinant centriškai gniuždomo elemento pastovumą, turi būti tenkinama sąlyga:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{321,69}{512,57} = 0,63 \leq 1,0. \quad (3.3.3.7)$$

Neišnaudojimo atsarga:

$$\Delta = \frac{N_{pl,Rd} - N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \times 100\% = \frac{512,57 - 321,69}{512,57} \times 100\% = 37,24\%. \quad (3.3.3.8)$$

Santvaros viršutinės juostos ribinis liaunis pagal Reglamento [6] 7.18 lentelę:

$$\lambda_u = 180 - 60\alpha = 180 - 60 \times 0,63 = 142,2. \quad (3.3.3.9)$$

Išvada: tinkliuko spyrio Nr. 3 stiprumas ir pastovumas rėmo plokštumoje pakankamas.

Atsarga 37,24%. Liaunis neviršija ribinio liaunio $\lambda_y = 51,2 \leq \lambda_u = 142,2$.

3.4. Santvaros elementų konstravimas

Santvaros elementų skerspjūvis ir neišnaudojimo procentas pateiktas lentelėje. Santvaros elementų svoris pateiktas 3.4.1 lentelėje.

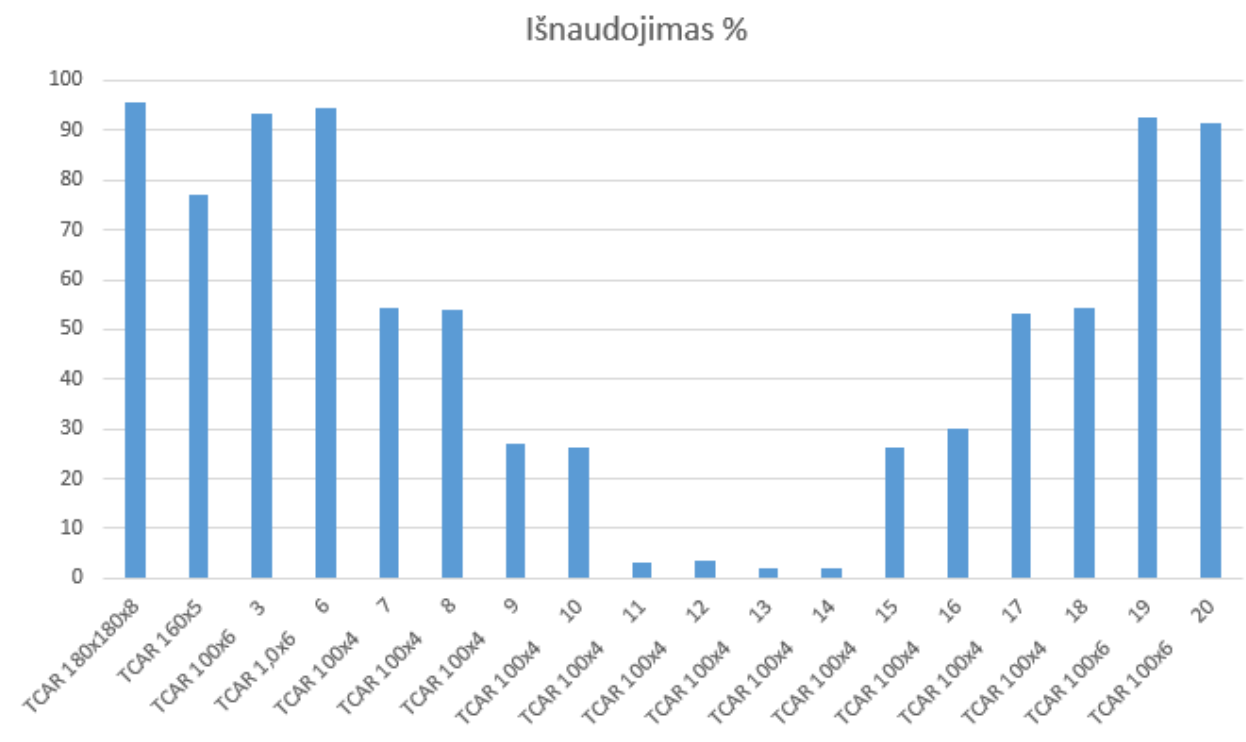
3.4.1 lentelė. Santvaros elementų svoris (be papildomų metalo lakšto mazgų).

Elemento nr.	Santvaros elementas	Skerspjūvis	Plieno klasė	Standartas	Masė, kg
4,5	Viršutinė juosta	TCAR 180x8	S355	EN 102010	989,36
25,26	Apatinė juosta	TCAR 160x5	S355	EN 102010	503,6
3,20, 7,6	Spyriai	TCAR 100x6	S355	EN 102010	154,1
19,18,17,16 ,15,14,13,1 2,11,10,9,8	Spyriai	TCAR 100x4	S355	EN 102010	354,1
Suvirinimas, 2,5%					50
<i>Iš viso:</i>					<i>2101,16</i>

3.4.2 lentelė. Suvestiniai santvarų el. skaičiavimo rezultatai.

Elementas	Elem. Nr.	Veikianti max įrąža		Skerspjūvis	Skerspjūvio plotas, cm^2	Skaičiuojamasis ilgis, cm		Inercijos spindulys, cm		Elemento liaunis		Ribinis liaunis λ_u	Klumpo koef., φ	Atsparis, kN	Neišnaud., %
		Reikšmė	Mato vnt.			$l_{eff.y}$	$l_{eff.z}$	i_y	i_z	λ_y	λ_z				
Virš. juosta	4, 5	672,36	kN	TCAR180x8	58,8	300	593	6,94	6,94	43,22	85,4	123,6	0,563	1034	4.4
														855,75	21,4
Ap. juosta	3, 4	-678,96	kN	TCAR 160x5	30,5	—	—	6,29	6,29	—	—	—	—	833	23,1
Spyriai	3	-321,69	kN	TCAR 100x6	21,6	242	242	3,79	3,79	51	51	123,9	0,65	344	6,5
	20	311,95	kN	TCAR 100x6	21,6	254	254	3,79	3,79	53,6	53,6	123,3	0,62	330	5,5
	19	-174,95	kN	TCAR 100x4	14,9	254	254	3,89	3,89	54,8	54,8	148	0,61	330	45,5
	18	170,53	kN	TCAR 100x4	14,9	266	266	3,89	3,89	54,8	54,8	149	0,60	315	46
	17	-88,76	kN	TCAR 100x4	14,9	266	266	3,89	3,89	57	57	164	0,58	315	73
	16	86,31	kN	TCAR 100x4	14,9	278	278	3,89	3,89	57,2	57,2	164	0,58	302	73,9
	15	10,21	kN	TCAR 100x4	14,9	278	278	3,89	3,89	57,2	57,2	178	0,53	302	97
	14	-10,79	kN	TCAR 100x4	14,9	291	291	3,89	3,89	61	61	178,5	0,54	287	96,5
	13	-4,73	kN	TCAR 100x4	14,9	291	291	3,89	3,89	61	61	179	0,54	287	97,9
	12	4,02	kN	TCAR 100x4	14,9	278	278	3,89	3,89	61,3	61,3	179,4	0,54	302	98
	11	88,33	kN	TCAR 100x4	14,9	278	278	3,89	3,89	57,2	57,2	164	0,58	302	73,8
	10	-90,84	kN	TCAR 100x4	14,9	266	266	3,89	3,89	57	57	162	0,59	315	70
	9	168,96	kN	TCAR 100x4	14,9	266	266	3,89	3,89	54,8	54,8	149	0,6	315	47
	8	-173,37	kN	TCAR 100x4	14,9	254	254	3,89	3,89	54,8	54,8	148	0,61	330	45,8
7	305,46	kN	TCAR 100x6	21,6	254	254	3,79	3,79	53,6	53,6	124,5	0,63	330	7,5	
6	-315,24	kN	TCAR 100x6	21,6	242	242	3,79	3,79	51	51	125	0,65	344	8,4	

3.4.1 diagrama. Skerspjūvių išnaudojimas %

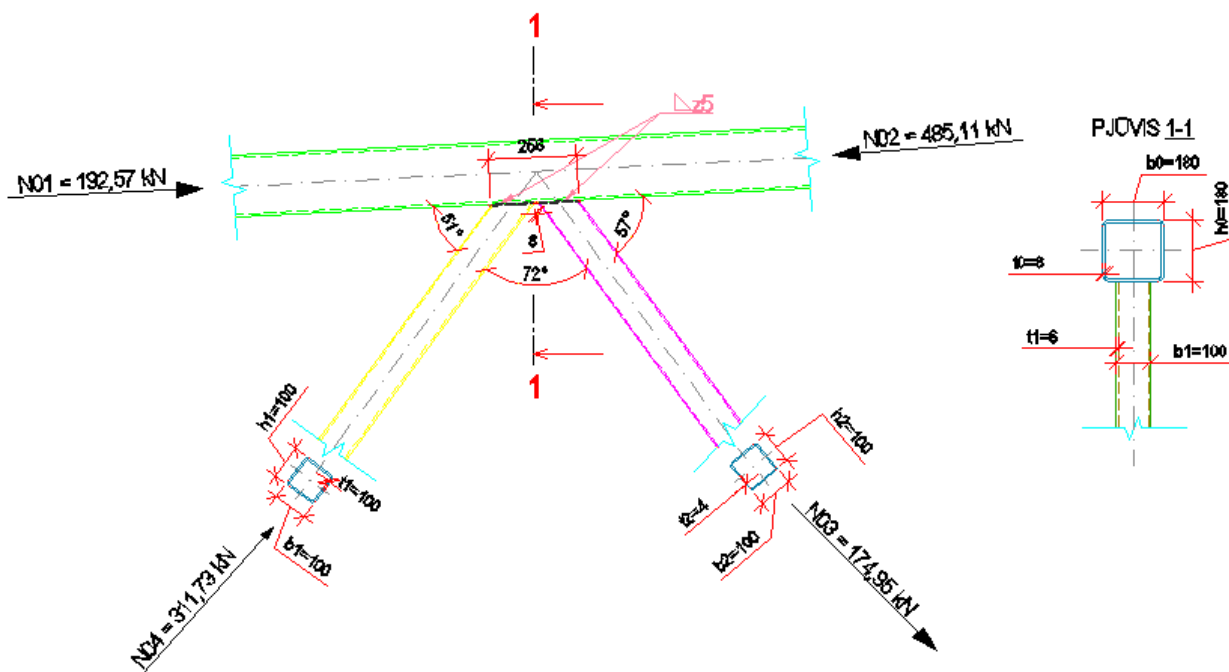


3.5. Santvaros mazgų projektavimas

Santvaros elementai yra pagaminti iš plieno markės S355MH (LST EN 10219-1). Kertinės siūlės, jungiančios tinklelio ir juostos elementas, suvirintos pusiau automatinio būdu apsauginėse dujose. Apatinės santvaros padėties virinimui buvo naudota elektrodinė viela G 38 pagal LST EN 440 [6].

Elementų darbo sąlygų koeficientai pagal [6] Reglamenta 7.1 lentelę – $\gamma_c = 0,95$

3.5.1. Gniuždomojo santvaros tinklelio spyrio ir viršutinės juostos jungties laikomosios galios tikrinimas (mazgas „A“)



3.5.1.1 pav. Mazgas A

Santvaros viršutinės juostos, veikiamos gniuždomojo spyrio, praspaudimo atspario tikrinimas

Pagal Reglamento [8] 89 punktą, kai

$$\frac{|N_{02}|}{A_0 \times f_{y,d}} = \frac{|485,11| \times 10^1}{52,8 \times 322,73} = 0,285 < 0,5. \quad (3.5.1.1)$$

Tai santvaros juostos ašinės jėgos įtakos koeficientas $\gamma_0 = 1,0$,

Juostos iškyša, $a = (b_0 - b_1) / 2 = (18 - 10) / 2 = 4 \text{ cm}$.

Tinklelio ir juostos sąlyčio ilgis, $c_1 = h_1 / \sin \theta_1 = 10 / \sin 51 = 12,86 \text{ cm}$.

Pusė santvaros tarpo tarp tinklelio strypų, $g = 0,8 / 2 = 4 \text{ cm}$.

Kadangi $b_1 / b_0 = 10 / 18 = 0,55 < 0,9$ ir $\frac{g}{c_1} = \frac{0,04}{12,86} = 0,03 < 0,25$, skaičiuojame pagal Reglamente

pateiktus skaičiavimus

$$\begin{aligned}
|N_1| + \frac{1,5|M_1|}{h_1} &= |311,73| + \frac{1,5 \times |0|}{0,1} = 311,73kN \\
&\leq \frac{\gamma_c \times \gamma_1 \times \gamma_0 \times f_{y,d} \times t_0^2 \times (g \times c_1 + \sqrt{2 \times b_0 \times a})}{\left(0,4 + \frac{1,8g}{c_1}\right) a \times \sin \theta_1} \\
&= \frac{0,95 \times 1,2 \times 1,0 \times 322,73 \times 10^3 \times 0,008^2 \times (0,004 \times 0,1286 + \sqrt{2 \times 0,18 \times 0,04})}{0,456 \times 0,04 \times \sin 51} \\
&= 349,66kN
\end{aligned} \tag{3.5.1.2}$$

Neišnaudojimo atsarga:

$$\Delta = \frac{349,66 - 311,73}{349,66} \times 100\% = 10,55\% \tag{3.5.1.3}$$

Išvada: Santvaros viršutinė juosta, veikiama gniuždomojo spyrio, praspaudimo atsparis pakankamas, atsarga pakankama $\Delta = 10,55\%$.

Santvaros viršutinės juostos sienutės pastovumo atspario tikrinimas gniuždomojo spyrio prijungimo vietoje

Kadangi $h_0 / t_0 = 18 / 0,8 = 22,5 < 25$, todėl koeficientas, įvertinantis juostos sienutės liaunį $\gamma_t = 1$. Koeficientas, įvertinantis juostos sienutės liaunį ir plieno stiprį pagal [8] Reglamento 91 punktą kai, $h_0 / t_0 = 22,5 \leq 2,45 \times 10^{-4} \times f_{y,d}^2 - 0,2 \times f_{y,d} + 81,8 = 2,45 \times 10^{-4} \times 322,73^2 - 0,2 \times 322,73 + 81,8 = 42,77$.

tai, $k = 1,0$.

Santvaros viršutinės juostos sienutės pastovumo atspario sąlyga:

$$\begin{aligned}
N_2 = 311,73kN &\leq \frac{2 \times \gamma_c \times \gamma_t \times k \times f_{y,d} \times t_0 \times h_1}{\sin^2 \theta_2} \\
&= \frac{2 \times 0,95 \times 1,2 \times 1,0 \times 322,73 \times 10^3 \times 0,008 \times 0,1}{\sin^2 51} = 631,22kN
\end{aligned} \tag{3.5.1.4}$$

Neišnaudojimo atsarga:

$$\Delta = \frac{631,22 - 311,73}{631,22} \times 100\% = 48,2\% \tag{3.5.1.5}$$

Išvada: Santvaros viršutinės juostos sienutės pastovumo atsparis yra pakankamas atsarga $\Delta = 48,2\%$.

Tinklelio elemento atspario tikrinimas jo prijungimo prie juostos srityje

Kadangi $h_2 / t_2 = 10 / 0,4 = 25 < 2,45 \times 10^{-4} \times f_{y,d}^2 - 0,2 \times 81,8 = 42,77$. todėl $k = 1,0$.

Nustatant sienutės liaunį, naudojami tinklelio skerspjūvio matmenys. Tinklelio elemento atspario tikrinimo sąlyga esant stačiakampiam skerspjūviui,

$$N_1 = 311673,7T \leq \frac{\gamma_c \times \gamma_1 \times k \times f_{y,d} \times A_1}{1 + 0,013 \times \frac{b_0}{t_0}} \times \frac{2}{3} \times \left(1 + \frac{1}{1 + \frac{b_1}{h_1}} \right) \quad (3.5.1.6)$$

$$= \frac{0,95 \times 1,0 \times 1,0 \times 322,73 \times 21,6 \times 10^{-1}}{1 + 0,013 \times \frac{0,18}{0,008}} \times \frac{2}{3} \times \left(1 + \frac{1}{1 + \frac{0,1}{0,1}} \right) = 896,7kN.$$

Neišnaudojimo atsarga:

$$\Delta = \frac{896,7 - 311,73}{896,7} \times 100\% = 65,2\% \quad (3.5.1.7)$$

Išvada: Tinklelio elemento atsparis jo prijungimo prie juostos srityje yra pakankamas atsarga $\Delta = 65,2\%$.

Santvaros viršutinės juostos, veikiamos tempiamojo tinklelio elemento, išplėšimo atspario tikrinimas

Iražos ženklų koeficientas pagal [7] Reglamento 89 punktą, kai elementai tempiami.

$$\gamma_2 = 1.2.$$

Santvaros juostos iškyšą, $a = (b_0 - b_1) / 2 = (18 - 10) / 2 = 4cm$.

Tinklelio ir juostos sąlyčio atkarpos ilgis, $c_2 = h_2 / \sin \theta_2 = 10 / \sin 57 = 11,9cm$.

Kadangi $b_2 / b_0 = 10 / 18 = 0,55 < 0,9$ ir $\frac{g}{c_2} = \frac{0,8}{11,9} = 0,07 < 0,25$, tai turime taikyti formulę pagal

Reglamento [8] 90 punktą:

$$|N_2| = 321,69kN \leq \frac{\gamma_c \times \gamma_2 \times \gamma_0 \times f_{y,d} \times t_0^2 \times (g \times c_2 + \sqrt{2 \times b_0 \times a})}{\left(0,4 + \frac{1,8g}{c_2} \right) a \times \sin \theta_2} \quad (3.5.1.8)$$

$$= \frac{0,95 \times 1,2 \times 1,0 \times 322,73 \times 10^3 \times 0,008^2 \times (0,004 \times 0,119 + \sqrt{2 \times 0,18 \times 0,04})}{0,46 \times 0,04 \times \sin 57}$$

$$= 297,54kN$$

Neišnaudojimo atsarga:

$$\Delta = \frac{297,54 - 174,95}{297,54} \times 100\% = 41,2\% \quad (3.5.1.9)$$

Išvada: Santvaros viršutinės juostos, veikiamos tempiamojo strypo, išplėšimo atsparis yra pakankamas, atsarga $\Delta = 41,2\%$.

Santvaros viršutinės juostos sienutės pastovumo atspario tikrinimas gniuždomojo spyrio prijungimo vietoje.

Santvaros viršutinės juostos sienutės pastovumo atspario sąlyga:

$$N_2 = 174,95kN \leq \frac{2 \times \gamma_c \times \gamma_t \times k \times f_{y,d} \times t_0 \times h_2}{\sin^2 \theta_2} \quad (3.5.1.10)$$

$$= \frac{2 \times 0,95 \times 1,2 \times 1,0 \times 322,73 \times 10^3 \times 0,008 \times 0,1}{\sin^2 57} = 837kN$$

Neišnaudojimo atsarga:

$$\Delta = \frac{837 - 174,95}{837} \times 100\% = 79\% \quad (3.5.1.11)$$

Išvada: Santvaros viršutinės juostos sienutės pastovumo atsparis yra pakankamas, atsarga $\Delta = 79\%$.

Tinklelio elemento atspario tikrinimas jo prijungimo prie juostos srityje

Kadangi $h_2 / t_2 = 10 / 0,4 = 25 < 2,45 \times 10^{-4} \times f_{y,d}^2 - 0,2 \times 81,8 = 42,77$. todėl $k = 1,0$.

Nustatant sienutės liaunį, naudojami tinklelio skerspjūvio matmenys. Tinklelio elemento atspario tikrinimo sąlyga esant stačiakampiam skerspjūviui,

$$N_2 = 174,95kN \leq \frac{\gamma_c \times \gamma_1 \times k \times f_{y,d} \times A_2}{1 + 0,013 \times \frac{b_0}{t_0}} \quad (3.5.1.12)$$

$$= \frac{0,95 \times 1,2 \times 1,0 \times 322,73 \times 18,1 \times 10^{-1}}{1 + 0,013 \times \frac{0,18}{0,008}} = 515,22kN$$

Neišnaudojimo atsarga:

$$\Delta = \frac{515,22 - 174,95}{515,22} \times 100\% = 66\% \quad (3.5.1.13)$$

Išvada: Tinklelio elemento atspario ir jo prijungimo prie juostos srityje pakankamas atsarga yra $\Delta = 66\%$.

Virintinių siūlių, jungiančių tinklelio elementus prie juostų, atspario tikrinimas

$$|N_2| \times \frac{0,75 + 0,01 \times \frac{b_0}{t_0}}{\beta_{wf.} \times k_f \times \left(2 \times \frac{h_2}{\sin \theta_2} + b_2 \right)} \quad (3.5.1.14)$$

$$= \left| 174,95 \times 10^{-3} \right| \times \frac{0,75 + 0,01 \times \frac{0,18}{0,008}}{0,9 \times 0,004 \times \left(2 \times \frac{0,1}{\sin 57} + 0,1 \right)} = 140,9 \text{ MPa}$$

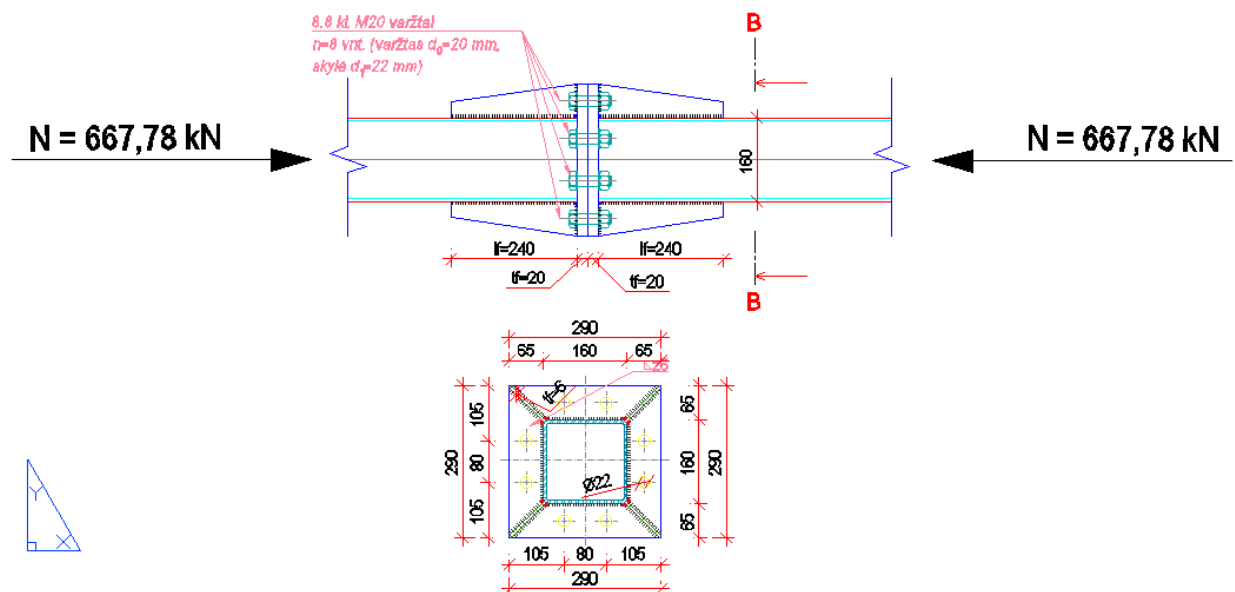
$$\leq \gamma_c \times f_{vw.f.d} = 0,95 \times 207 = 196,65 \text{ MPa}$$

Neišnaudojimo atsarga:

$$\Delta = \frac{196,65 - 140,9}{196,65} \times 100\% = 28,3\% \quad (3.5.1.15)$$

Išvada: Kertinių siūlių, jungiančių gniuždomą tinklelio elementą su juosta, atsparis yra pakankamas atsarga $\Delta = 28,3\%$.

3.5.2. Flanšinės jungties skaičiavimas (mazgas „B“)



3.5.2.1 pav. Flanšinė jungtis – mazgas „B“.

Jungtinė jungtis konstruojama [8] Reglamento 7-20 punktus. Kadangi jungtinė jungtį veikia centriškai pridėta tempianti ašinė jėga $N_{Ed} = 667,78 \text{ kN} \leq 2500 \text{ kN}$ tai jungtinė jungtį galime naudoti.

Pagal rekomendacijas jungtinė jungtį rekomenduojama jungtį M24 varžtais, nebent tokių varžtų panaudojimas yra neracionalus (neekonomiškas). Priimame, kad visos jungtis bus

jungiamos 8,8 klasės M20 varžtais. Junginės jungties sąstandos visas ilgis turi būti ne mažesnis nei $l_{fl} = 240mm \geq 1,5 \times 160 = 240mm$ o storis $t_{fl} = 6mm \leq 1,2 \times t = 1,2 \times 5 = 6mm$.

[6] Reglamento 7.31 lentelę atstumai tarp varžtų pateikti 3.5.2.1 lentelėje.

3.5.2.1 lentelė. Varžtų išdėstymo reikalavimai flanšinėje jungtyje.

Atstumo charakteristika	Varžtų išdėstymo atstumas yra:
Atstumai tarp varžtų centrų bet kuria kryptimi:	
a) Mažiausi atstumai	$2,5 \times d_0 = 2,5 \times 20 = 50mm$.
b) didžiausi atstumai vidurinėse eilėse, taip pat kraštinėse eilėse, kai yra sustandinantys kampuočiai tempiant	$16 \times d_0 = 16 \times 20 = 320mm$.
Atstumas nuo varžto centro iki elemento krašto yra:	
a) mažiausias varžtams įtempimas esant bet kokiam krašto apdirbimui ir bet kokios krypties įrašai yra:	$1,3 \times d_0 = 1,3 \times 20 = 26mm$.
b) didžiausias atstumas	$4 \times d_0 = 4 \times 20 = 80mm$.

Taip pat turi būti tenkinamos sąlygas:

$$k_f + \frac{d_2}{2} + g = 6 + \frac{32,5}{2} + 2 = 24,25mm \leq m_{1,j} = 30mm \quad (3.5.2.1)$$

$$\leq 3,5d_0 = 3,5 \times 20 = 70mm;$$

$$e_j \geq 0,8 \times d_2 = 0,8 \times 30 = 24mm \quad (3.5.2.2)$$

čia: $m_{1,j}$ - atstumas nuo skylės centro iki prijungiamo profilioočio krašto flanšo,

d_2 – išorinis poveržlės skersmuo iš lentelių [4], $d_2 = s = 30mm$,

g – skylės ir varžto diametro skirtumas, $g = 2mm$

Varžtų atspario tikrinimas

Skaičiuotinis vieno varžto tempiamasis atsparis pagal [6] Reglamento 172 punktą :

$$F_{bt,Rd} = f_{bt,Rd} \times A_{b,et} = f_{bt,Rd} \times A_{b,net} = 400 \times 245 \times 10^{-3} = 98kN. \quad (3.5.2.3)$$

čia: $f_{bt,Rd}$ – skaičiuotinis varžtų tempiamasis plieno stipris 8.8 kl. M24 varžtams pagal Reglamento [6] 6.17 ir 6.18 lenteles $f_{bt,Rd} = 0,50f_{bu} = 0,50 \times 800 = 400MPa$.

$A_{b,net}$ – varžto grynas (neto) skerspjūvio plotas pagal Reglamento [6] 7.32 lentelę,

$$A_{b,net} = 245 mm^2$$

Centriškai tempiamų flanšinių jungčių su uždaro profilio jungiamaisiais elementais stiprumas tikrinamas pagal Reglamento [8] 25 punktą, kai $20\text{ mm} \leq t_f = 20\text{ mm} \leq 40\text{ mm}$:

$$N_{Ed} = 667,78\text{kN} \leq n \times k_2 \times F_{b,t,Rd} = 8 \times 0,85 \times 98 = 668\text{kN}. \quad (3.5.2.4)$$

čia: n – visas jungties varžtų skaičius, $n = 8$ vnt,

k_2 – koeficientas iš Reglamento [8] 2.5 lentelės, $k_2 = 0,85$,

t_f – flanšo plokštelės storis. $t_f = 20\text{mm}$

Neišnaudojimo atsarga:

$$\Delta = \frac{668 - 667,78}{668} \times 100\% = 0,2\% \quad (3.5.2.5)$$

Išvada: Užtikrinant reikiamą varžtų atspario reikšmę, reikalingi 8 vnt. 8,8 kl. M20 varžtai. Gauta atsarga $\Delta = 0,2\%$ tenkina ekonomiškumo kriterijų ($\Delta = 0,2\% \leq 5\%$).

Jungties šlyties kerpamajo atspario tikrinimas

Pagal Reglamento [8] 26.2 punktą kai prijungiamas uždarojo skerspjuvio elementas, kontaktinė įraša apskaičiuojama:

$$F_{bhf,Rd} = 0,1 \times F_{b,t,Rd} = 0,1 \times 98 = 9,8\text{kN}. \quad (3.5.2.6)$$

Kadangi vietinės skersinės jėgos nėra, tai apskaičiuojame sąlyginę vietinę skersinę jėgą, kuri lygi:

$$V_{loc} = 0,1 \times \mu_h \times N_{Ed} = 0,1 \times 0,35 \times 667,78 = 23,3\text{kN} \quad (3.5.2.8)$$

Tempiamų flanšinių jungčių atsparis vietinei skersinei:

$$V_{loc} = 23,3\text{kN} \leq \mu_h \times n \times F_{bhf,Rd} = 0,35 \times 8 \times 9,8 = 27,44\text{kN} \quad (3.5.2.9)$$

Siūlių, jungiančių flanšą su profiliuočiu atspario tikrinimas

Virinti naudojama elektrodinė viela G38, kurios charakteristinis stipris pagal Reglamento [6] 6.10 lentelę $f_{vw,u} = 470\text{ MPa}$. Skaičiuotiniai siūlių stipriai pagal Reglamento [8] 6.11 lentelę:

$$f_{vw,f,d} = 0,55 \times \frac{f_{vw,u}}{\gamma_{Mw}} = 0,55 \times \frac{450}{1,25} = 207\text{ MPa}. \quad (3.5.2.10)$$

$$f_{vw,z,d} = 0,45 \times f_u = 0,45 \times 450 = 202\text{ MPa}. \quad (3.5.2.11)$$

čia: f_u – plieno stipris pagal stiprumo ribą pagal [6] Reglamento 6.10 lentelę, S355 plienui $f_u = 450$ MPa.

γ_{Mw} – virintinės (lydytinės) siūlės metalo medžiagos patikimumo koeficientas, pagal Reglamento [8] 6.10 lentelę $\gamma_{Mw} = 1,25$.

Kertinės siūlės koeficientai pagal [6] Reglamento 7.30 lentelę yra: $\beta_{wf} = 0,9$; $\beta_{wz} = 1,05$.

Tikrinama, ar tinkamai parinkta elektrodinė viela:

Suvirinimo statinis yra $k_f = 6 \text{ mm} \leq 1,2 \cdot t = 1,2 \cdot 5 = 6 \text{ mm}$.

Iš šių sąlygų nustatome silpnesnį elemento pjūvį:

$$\begin{aligned} \beta_{wf} \times f_{vw,f,d} &= 0,9 \times 207 = 186,3 \text{ MPa} < \beta_{wz} \times f_{vw,z,d} \\ &= 1,05 \times 202 = 212,10 \text{ MPa}. \end{aligned} \quad (3.5.2.12)$$

Silpnesnis pjūvis per siūlės metalą, todėl tikriname jungties atsparį:

$$\frac{N_{Ed}}{\beta_{wf} \times k_f \times \sum l_{w,eff} \times f_{vw,f,d}} = \frac{667,78 \times 10^{-3}}{0,9 \times 0,006 \times 0,63 \times 186,3 \times 1,0} = 1 \leq 1,0. \quad (3.5.2.13)$$

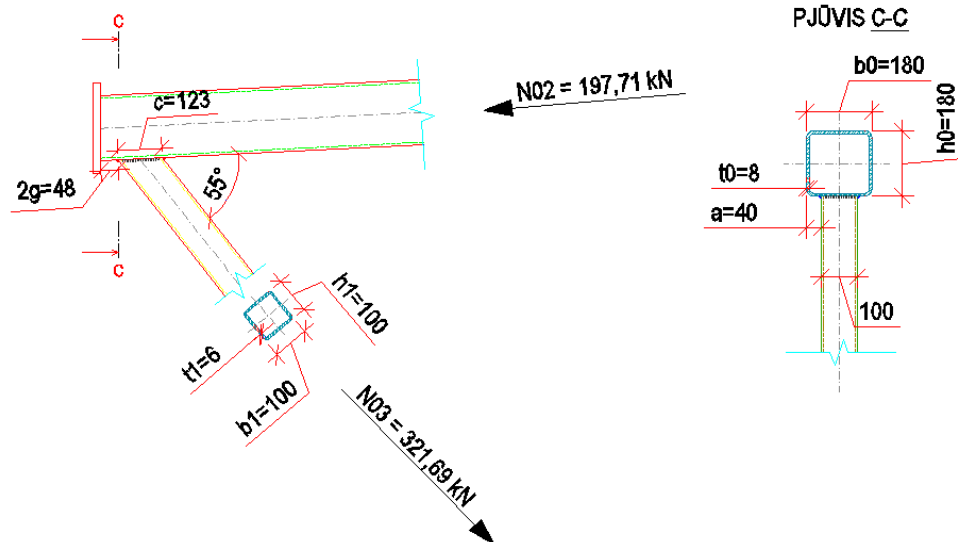
čia: $l_{w,eff}$ – siūlės ilgis įvertinant galima nekokybiškos siūlės dalį.

$$l_{w,eff} = l_w - 10 = 640 - 10 = 630 \text{ mm}$$

Išvada: Parinkus suvirinimo siūlės statinį $k_f = 6 \text{ mm}$ virintinės siūlės atsparis per silpnesnį siūlės metalą pakankamas

3.5.3. Atraminio mazgo skaičiavimas (mazgas „C“)

Santvaros viršutinės juostos, veikiamos tempiamojo tinklelio elemento, išplėtimo atspario tikrinimas



3.5.3.1 pav. Flanšinė jungtis – mazgas „C“.

Iražos ženklų koeficientas pagal Reglamento [8] 89 punktą, kai elementai tempiami $\gamma_1 = 1,2$.

Kadangi

$$\frac{|N_2|}{A_0 \times f_{y,d}} = \frac{|197,71| \times 10}{52,8 \times 322,73} = 0,116 < 0,5. \quad (3.5.3.1)$$

$$\gamma_0 = 1,0.$$

Santvaros juostos iškyšą yra, $a = (b_0 - b_2)/2 = (18 - 10)/2 = 4 \text{ cm}$.

Santvaros tinklelio ir juostos sąlyčio atkarpos ilgis, $c_1 = h_1/\sin\theta_1 = 10/\sin 55 = 12,2 \text{ cm}$.

Pusė tarpo tarp santvaros strypų tinklelio $g = 4,8/2 = 2,4 \text{ cm}$.

Kadangi $b_1/b_0 = 100/180 = 0,555 < 0,9$ ir $c/b_1 = 12,2/10 = 1,2 > 0,25$, tai turime taikyti formulę pagal [8] Reglamento 89 punktą:

$$\begin{aligned} |N_3| + \frac{1,7|M_1|}{h_1} &= 321,69 \text{ kN} \leq \frac{\gamma_c \times \gamma_1 \times \gamma_0 \times f_{y,d} \times t_0^2 \times (2 \times c_1 + \sqrt{2 \times b_0 \times a})}{a \times \sin \theta_1} \\ &= \frac{0,95 \times 1,2 \times 1,0 \times 322,73 \times 10^3 \times 0,008^2 \times (2 \times 0,122 + \sqrt{2 \times 0,18 \times 0,04})}{0,04 \times \sin 55} \\ &= 341,6 \text{ kN} \end{aligned} \quad (3.5.3.2)$$

Neišnaudojimo atsarga:

$$\Delta = \frac{341,6 - 321,69}{341,6} \times 100\% = 5,7\% \quad (3.5.3.3)$$

Išvada: Santvaros viršutinės juostos, veikiamos tempiamojo strypo, išplėšimo atsparis yra pakankamas, atsarga $\Delta = 5,7\%$.

Santvaros viršutinės juostos sienutės pastovumo atspario tikrinimas tempiamojo spyrio prijungimo vietoje

Santvaros viršutinės juostos sienutės pastovumo atspario sąlyga:

Kadangi $\frac{h_0}{t_0} = \frac{180}{8} = 22,5 < 25$, todėl koeficientas, įvertinantis juostos sienutės liaunį (plonasieniškumą) $\gamma_t = 1$. Koeficientas, įvertinantis juostos sienutės liaunį ir skaičiuotinį plieno stiprį pagal Reglamento [8] 91 punktą kai $h_0/t_0 = 22,5 < 2,45 \cdot 10^{-4} \cdot f_{y,d}^2 - 0,2 \cdot f_{y,d} + 81,8 = 2,45 \cdot 10^{-4} \cdot 322,73^2 - 0,2 \cdot 322,73 + 81,8 = 42,77$, $k = 1,0$.

Santvaros viršutinės juostos sienutės pastovumo atspario sąlyga:

$$N_1 = 321,69kN \leq \frac{2 \times \gamma_c \times \gamma_t \times k \times f_{y,d} \times t_0 \times h_1}{\sin^2 \theta_1} \quad (3.5.3.4)$$

$$= \frac{2 \times 0,95 \times 1 \times 1,0 \times 322,73 \times 10^3 \times 0,008 \times 0,06}{\sin^2 55} = 438,6kN.$$

Neišnaudojimo atsarga:

$$\Delta = \frac{436,6 - 321,69}{438,6} \times 100\% = 26,6\% \quad (3.5.3.5)$$

Išvada: Viršutinės juostos santvarossienutės pastovumo atsparis pakankamas, atsarga tenkinama 26,6% .

Elemento tinklelio atsparis jo prijungimo prie juostos srityjeir virintinių siūlių, jungiančių tinklelio elementus prie elemento juostų, atsparis turi būti tikrinamas kai: – mazguose, nurodytuose [8] Reglamento 89 punkte, kai kampas tarp tinklelio ir juostos yra $\alpha = 40 - 50^\circ$, šiuo atveju to nedarome, nes kampas neatitinka reikalavimu ir jis yra 55° .

4. TECHNOLOGINĖ IR ORGANIZACINĖ DALIS

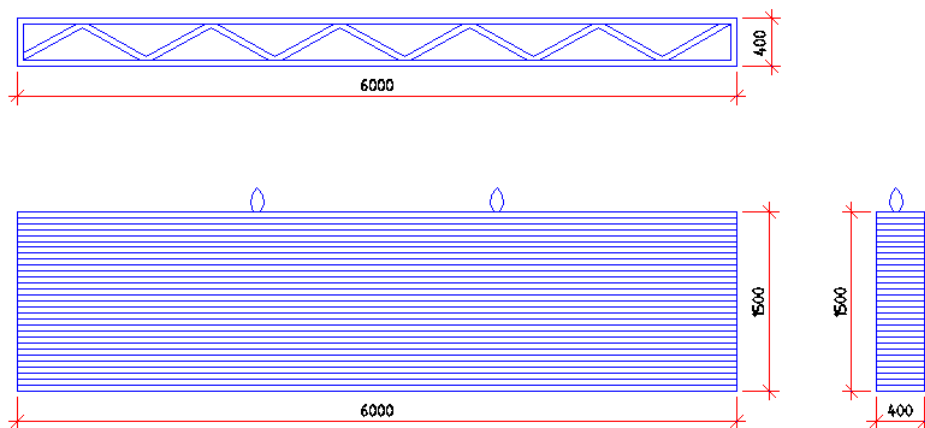
4.1. Gaminio aprašymas

Projektuojamoje gamybos linijoje bus skirstoma į dvi dalis. Pagrindinėje gamybos linijoje bus gaminamos namo dalys – Sieniniai elementai, bei elementai kurie suformuoja stogą. Su šiais elementais greitai ir paprastai bus galima surinkti gyvenamojo namo, iki trijų aukštų karkasą. Gaminiai gaminami su įdėtinėmis detalėmis, kad kranų pagalba konstrukcijos būtų keliamos viena ant kitos. Gamybos linija neapsiribos tik dviejų gaminių gamyba, ji taip pat priiminės ir specialius užsakymas – nestandartines konstrukcijas, kurias įvertins inžinieriai – konstruktoriai ir po specialiųjų bandymų, bus gaminamos. Šiems gaminiams gaminti reikės cemento, vandens, hidratacijos greitiklio bei vandens žaliavų. Antroje gamybos linijoje bus atliekama įvairūs bandymai, ieškant naujų idėjų. Taip pat bus gaminama įvairios lauko detalės, indai.

4.2. Gaminių asortimentas

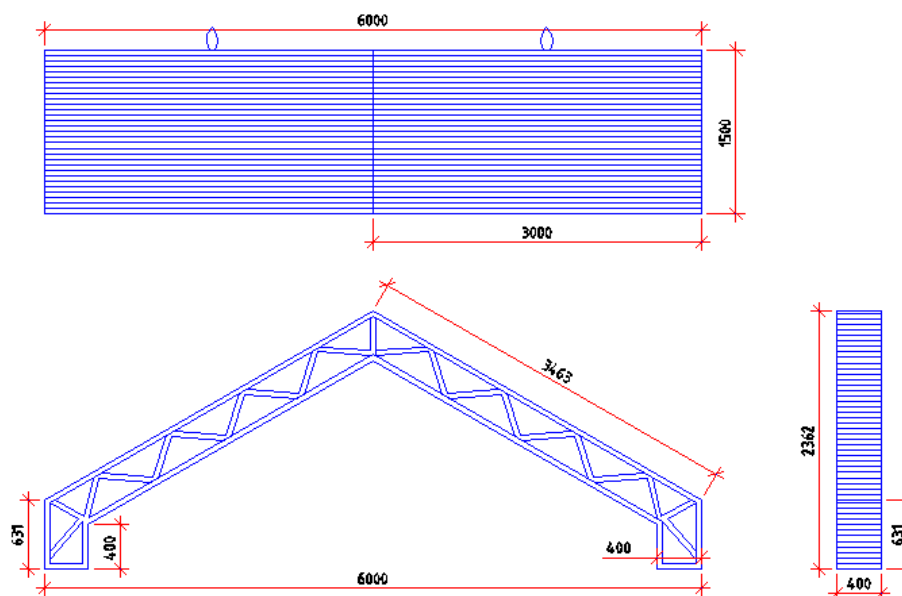
Pagrindinėje gamybos linijoje bus gaminamos namo dalys – Sieniniai elementai (žr. 4.1.1 pav.), bei elementai kurie suformuoja stogą (žr. 4.1.2 pav.).

Sienos konstrukcija



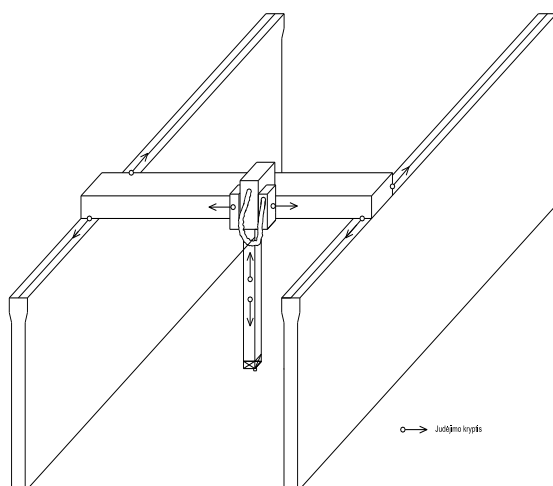
4.2.1 pav. Sienos konstrukcija

Stogo konstrukcija



4.2.2 pav. Stogo konstrukcija

4.3. 3D spausdinimo įrenginys



4.3.1 pav. 3D spausdinimo mechanizmas

Gamykloje pagrindinis įrenginys yra 3D spausdinimo mašina. Bus projektuojami 2 identiški spausdintuvai, kurie ir sudarys pagrindinę gamybos liniją.

4.3.1 lentelė. Techninės charakteristikos .

Pavadinimas	Matavimo vnt.	Kiekis	Pastabos
Aukštis	mm	4500	
Plotis	mm	5200	
Ilgis		12000	
Našumas	m	1	Atspausdinto betono ilgis
Garantinis laikotarpis	metai	12	

4.4. Gaminio žaliavos

Vanduo:

Betono mišiniui ruošti tinkamas visoks vanduo, kuris nėra užterštas chloridais, nitratais, rūdinėmis mechaninėmis priemaišomis. Tai yra jo $\text{pH} \geq 4$, organinių priemaišų ne daugiau kaip 20 mg/l, ištirpusių druskų ne daugiau kaip 2 %. Tinkamiausias geriamas vandentiekio, upių ir ežerų vanduo. Vanduo turi tenkinti LST EN 1008:2003 „Vanduo betonui. Techniniai vandens, bandymo ir tinkamumo reikalavimai, įskaitant grąžinamą iš betono pramonėje gamybos vandenį, pakartotinai naudojamą betono mišiniui ruošti, standarto reikalavimus [7].

Užpildai:

Kadangi betonas, naudojamas spausdinimui jis turi būti ne didesnis nei 0/1 fr. Naudojamame smėlyje Dalelių skersmuo svyruoja nuo 0,063 mm iki 1 mm.

Smėlis beveik ar visiškai nesucementuota uoliena t. y. biri, nevienalytė. Vienalytė sucementuota įvairiais cementais uoliena vadinama smiltainiu. Smėlis pagal savo kilmę gali būti

fliuvioglacijalinis, jūrinis, aliuvinis (upinis), eolinis. Smėlio mineralinė sudėtis gana įvairi. Betono stiprumui kenkia įvairios priemaišos, tokios kaip dulkės, molis, žėrutis, sulfatai, ir įvairios organinės kilmės medžiagos. Jų kiekis yra ribojamas standartais ir priklauso nuo užpildo stambumo. Užpildai turi tenkinti LST EN 12620:2003 „Betono užpildai“ standarto reikalavimus.

Cementas:

Spausdinamies elementams naudojamas specialus cementas. Cementas yra smulki miltelių pavidalo mineralinė rišamoji medžiaga, kuri sumaišyta su vandeniu rišasi ir kietėja vykstant hidratacijos reakcijoms ir procesams. Sukietėjusi nepraranda stiprumo bei pastovumo ore ir vandenyje.

4.5. Gamybinio pajėgumo skaičiavimas

3D spausdintuvas maksimaliai per 10 sekundžių gali išspausdinti apie 1 metrą betono mišinio. Įvertinus rinkos poreikius, bei įvertinus įrenginių našumą, nuspręsta gaminti apie 5930 m³/metus namo laikančiųjų elementų. Darbo pamainos trukmė 8 valandos. Laiko išnaudojimo koeficientas yra 0,8. Per Metus dirbama 248 darbo dienas. Dirbama trejomis pamainomis. Gamybiniai pajėgumai paskaičiuoti 4.7.1. ir 4.7.3. lentelėse. Gamyklos pagrindiniai gaminiai bus sienų ir stogų konstrukciniai elementai.

$$P_{pt} = \frac{P_{mt}}{T_m} = \frac{5920}{248} = 23.91m^3 / para \quad (4.5.1)$$

Gamybinis pajėgumas P_{pam} , m³/pamainą.,

$$P_{pam} = \frac{P_{pt}}{n} = \frac{23.91}{3} = 7.97m^3 / pamainą \quad (4.5.2)$$

n – pamainų skaičius, 3 pamainos

Gamybinis pajėgumas P_{ht} , m³/h:

$$P_{ht} = \frac{P_{pam}}{6.4} = \frac{7.97}{6.4} = 1.25m^3 / valandą \quad (4.5.3)$$

6,4 – darbo pamainos tikroji trukmė.

4.5.1. lentelė. Stogo ir sienos elementų pajėgumai m³ (bendas)

	Gaminiai		Sienos ir stogo elementų
	Gamybinis pajėgumas	Per metus	P_{mt} , m ³
Per parą		P_{pt} , m ³	23,91
Per pamainą		P_{pamt} , m ³	7,97
Per valandą		P_{ht} , m ³	1,25

Gamybos linijoje per valandą pagaminama 1,25 m³/h namo konstrukcinių elementų. Kadangi pagrindinėje linijoje bus gaminamos dvi skirtingos konstrukcijos, bei jos naudoja tos pačios proporcijos mišinį. Tad skaičiavimus galima atlikti sumuojant konstrukcijas.

4.5.2 lentelė. Specialaus betono mišinio poreikis %.

Mišinys	Žaliavų kiekis %			
	Smėlis 0/1 fr.	Cementas	Vanduo	Hidratacijos greitiklis
Nr.1	64%	13%	16%	7%

Apskaičiuojama kokio kiekio medžiagų (kg) reikės pagaminti 1m³ specialaus betono mišinio ir apskaičiuojama kiek reikės jo per 1 valandą, per pamainą, per parą ir per metus. Skaičiavimai surašomi į lentelę (žr. 4.4.3 lentelę).

4.5.3 lentelė. Medžiagų sąnaudų skaičiavimas.

Medžiaga	Spausdinami elementai				
	1 m ³ , kg	Per 1 h, kg	Per pamainą, kg	Per parą, kg	Per metus, kg
Smėlis 0/1	640	800	5100,8	15302,4	3795200
Su nuostoliais 3 %	659,2	824	5253,8	15761,47	3909056
Hidratacijos greitiklis	70	87,5	557,9	1673,7	415100
Su nuostoliais 1 %	70,7	88,4	563,5	1690,4	419251
Vanduo	130	162,5	1036,1	3108,3	770900
Su nuostoliais 1 %	131,3	164,12	1046,5	3139,38	778609
Specialus cementas	160	200	1275,2	3825,6	948800
Su nuostoliais 2 %	163,2	204	1300,7	3902,1	967776

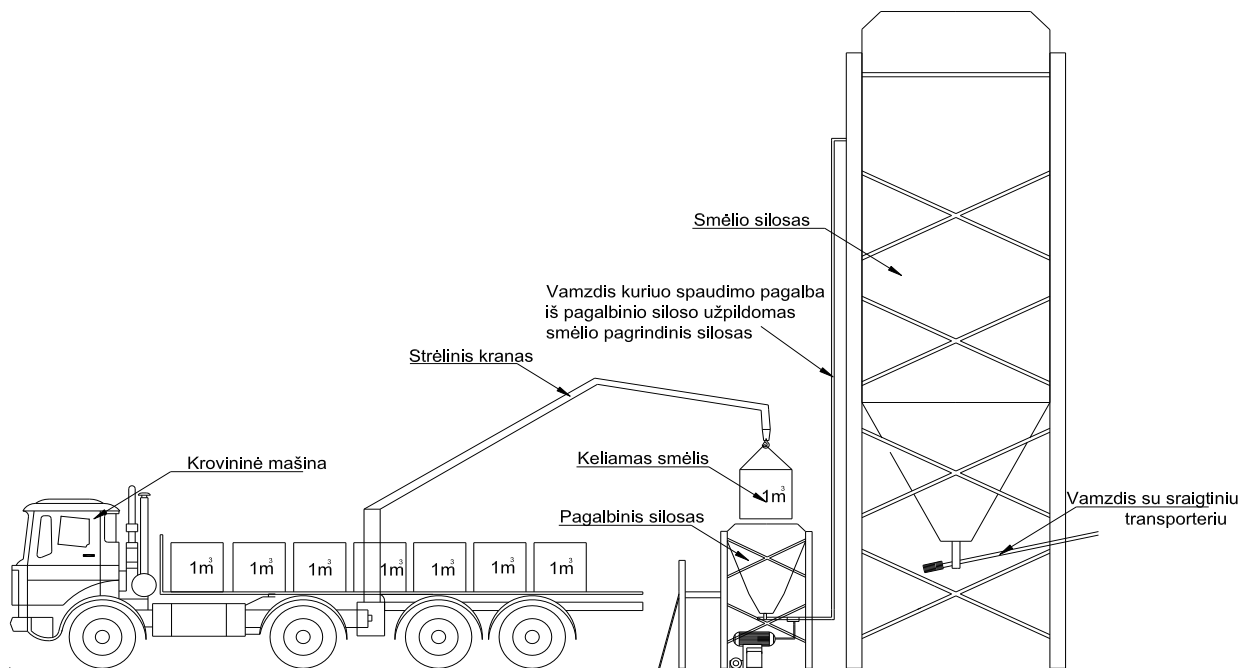
Iš viso bus sunaudota per metus su nuostoliais:

Smėlis 0/1fr:	3909,1 t;
Hidratacijos greitiklis:	419,3 t;
Vanduo:	778,6 t;
Specialus cementas:	967,8 t;

4.6. Gamybos proceso aprašymas

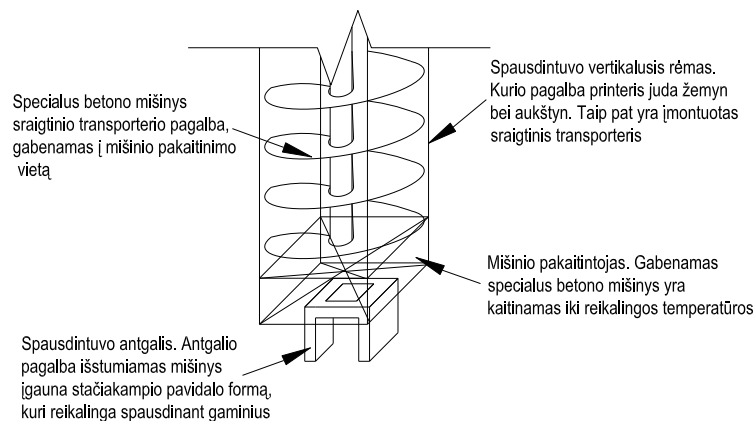
Pagrindinė gamybos cecho linija gamins sienos bei stogo konstrukcinius laikančiuosius elementus. Elementai gaminami iš specialaus betono mišinio, kuris pradeda rišti praėjus 15min.

Viskas prasideda nuo žaliavų transportavimo į gamybos teritoriją. Atvežtas smėlis 0/2 frakcijos ir specialus cemento mišinys yra sukrauti į 1m³ maišus, kad būtų patogus žaliavų perkėlimas į pagalbinius silosus. Vėliau pagalbinių silosų pagalba, žaliavos spaudimo pagalba perkeliama į pagrindinius žaliavų silosus.



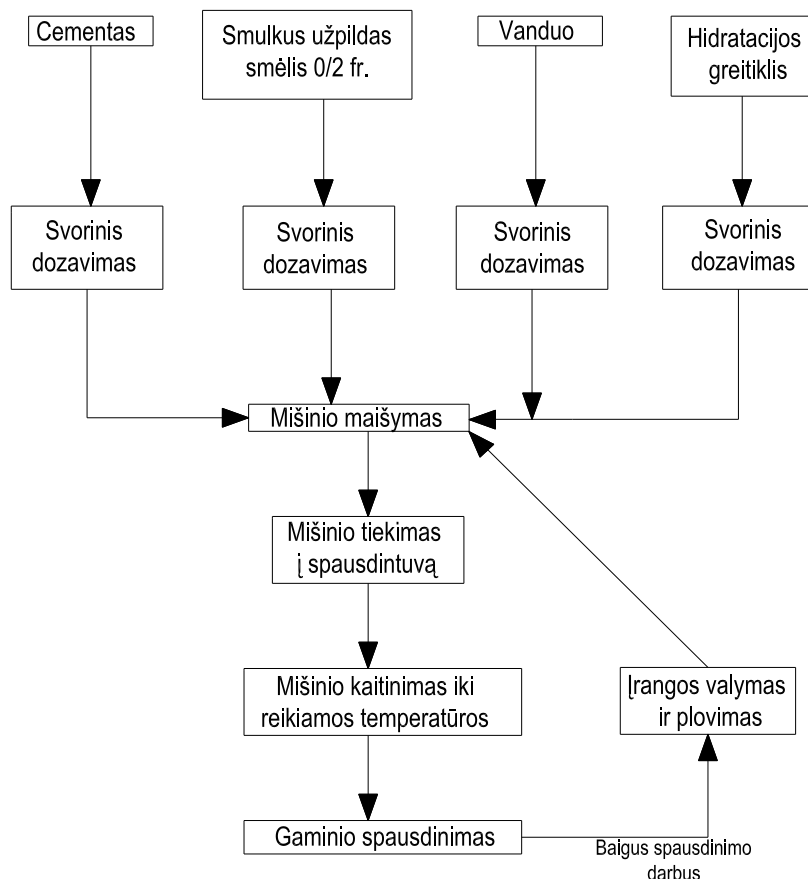
4.6.1 pav. Užpildų transportavimas į silosus

Iš smėlio ir cemento silosų žaliavos sraigtiniais transporteriais gabenamos į dozuojamas svarstykles. Kaip ir sausieji mišiniai, tuo pat metu dozuojamas vanduo su hidratacijos greitikliu, kurie yra laikomi cecho maišyklės patalpose. Iš svarstyklių visos žaliavos beriamos į maišyklę. Maišyklėje viskas maišoma ganėtinai žemoje temperatūroje, dėl specialaus betono mišinio. Sumaišius mišinį jis spaudimo pagalba transportuojamas į 3D printerius. Printeriuose yra įmontuota sraigtinis transportelis, kuris nugabena specialų betono mišinį iki pačio antgalio, kuris ir formuoja gaminius. Prieš pat antgali yra įdiegtas žaliavos pakaitintojas, kad mišinys suaktyvėtų ir sutrumpėtų rišimosi trukmė.



4.6.2 pav. 3D spausdintuvo gaminių formavimo antgalis

4.7. Gamybos proceso technologinė schema



4.7.1 pav. 3D spausdinimo technologinė schema

4.8. Technologinės linijos skaičiavimas

Maišytuvo našumas P_v , m^3/h apskaičiuojamas:

$$P_v = \frac{Q_{mt}^n}{T_m \times T \times n} = \frac{5930}{248 \times 6.4 \times 3} = 1.86 m^3 \quad (4.8.1)$$

Q_{mt}^n – cecho gamybinis pajėgumas per metus, m^3 ;

T_m – metinis darbo laikas dienomis ($T_m = 248$ paros);

T – darbo valandų skaičius pamainoje 6,4h;

n – pamainų skaičius $n = 3$.

Apskaičiuojama vieno betono maišinio ruošimo ciklo trukmė t_c , s:

$$t_c = t_p + t_m + t_i = 10 + 125 + 40 = 175s \quad (4.8.2)$$

t_p – žaliavų tiekimo į maišytuvą trukmė, s ($t_p = 10 - 20$ s);

t_m – komponentų sumaišymo trukmė, s ($t_m = 100...150$ s);

t_i – mišinio išpylimo iš maišytuvo trukmė, s (t_i – 20...60s).

4.9. Cemento ir smėlio sandėliai

Apskaičiuojamas reikalingas cemento kiekis sandėlyje $m_{c(san)}$ t:

$$m_{c(sand)} = \frac{Q_{mt} \times C \times n \times k_1}{T_{sk} \times k_2} = \frac{5930 \times 0.163 \times 20 \times 1.04}{248 \times 0.943} = 64t \quad (4.9.1)$$

Q_{mt} – paruošimo cecho metinis gamybinis pajėgumas, m^3 ;

C – cemento sąnaudos, reikalingos paruošti vienam m^3 betono mišinio, t;

n – priimama 20 kalendorinių dienų, nes specialaus cemento gavimas yra ganėtinai ribotas, gabenama iš užsienio;

k_1 – koeficientas, įvertinantis iškraunamo cemento galimus nuostolius ($k_1 = 1,04$);

T_{sk} – skaičiuojamasis darbo dienų skaičius per metus ($T_{sk}=248$);

k_2 – technologinių įrenginių išnaudojimo koeficientas ($k_2 = 0,943$).

Apskaičiuojama reikalinga sandėlio talpa $V_{c(sand)}$, m^3 :

$$V_{c(sand)} = \frac{m_{c(sand)}}{q_c} = \frac{64}{1,200} = 53,4m^3 \quad (4.9.2)$$

ρ_c – cemento piltinis tankis, kg/m^3 , (Priimame $1,2 t/m^3$).

Apskaičiuojamas reikalingas siloso tūris V_{silos} , m^3 :

$$V_{silos} = \frac{V_{c(sand)}}{k_3} = \frac{53,4}{1} = 53,4m^3 \quad (4.9.3)$$

čia k_3 – cemento silosų kiekis, vnt.

Kadangi gamybos ceche naudojamas vienos rūšies cementas, tai parinktas vienas $55 m^3$ silosas, kurio matmenys: aukštis 6600 mm, skersmuo 3000 mm. Kūgio aukštis 2300 mm, kampas 60° .

Apskaičiuojamas reikalingas sandėliuojamo smėlio kiekis $V_{St(sand)}$, m^3 .

$$V_{St(sand)} = Q_s \times n \quad (4.9.4)$$

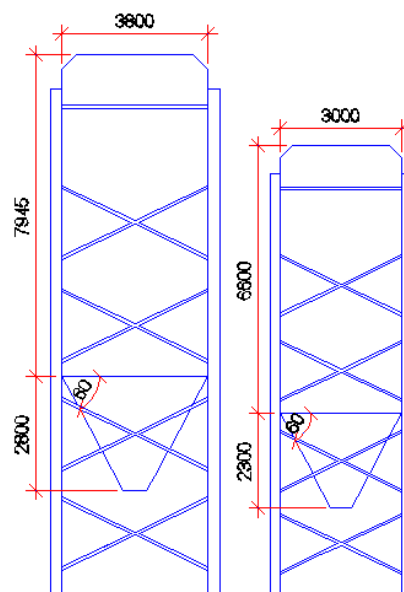
čia Q_s – Smėlio sąnaudos per parą (su nuostoliais), m^3 ;

n – užpildų atsarga sandėlyje, įmama $n = 9$).

Medžiaga	$V_{St(sand)}, m^3$
Smėlis 0/1	139,84

Kadangi gamybos ceche naudojamas vienos rūšies smėlis, tai parinktas vienas 140 m³ silosas, kurio matmenys: aukštis 8000 mm, skersmuo 3800 mm. Kūgio aukštis 2800 mm, kampas 60°.

Cemento ir smėlio sandėliai. Cementas ir smėlis sandėliuojamas metaliniuose silosuose. Siloso atramos pagamintos iš metalinio kampuočio su sutvirtinančiais spyriais. Kiekvienai žaliavai suprojektuota po vieną silosą. Cemento silosas yra 55 m³. Siloso aukštis 6600 mm, skersmuo 3000 mm. Kūgio aukštis 2300 mm, kampas 60°, siloso bendras svoris 6t. Smėlio silosas yra 131 m³. Siloso aukštis 8000 mm, skersmuo 3800 mm. Kūgio aukštis 2800 mm, kampas 60°, siloso bendras svoris 10,5t.



4.9.1 pav. Cemento ir smėlio silosai

4.10. Hidratacijos greitiklis ir vandens sandėliai

Vanduo bus įmamas iš vietinio gręžinio, todėl skaičiavimai nereikalingi. Apskaičiuojama reikalinga hidratacijos greitiklio laikymo talpa V_h , m³.

$$V_h = Q_h \times n \quad (4.10.1)$$

Q – Hidratacijos greitiklio sąnaudos per parą (su nuostoliais), m³;

n – užpildų atsarga sandėlyje, įmama $n = 20$). Nes planuojama greitikli gabenti iš tų pačių tiekėju kaip ir cementą.

Medžiaga	V_h , m ³
Hidratacijos greitiklis	33,8

Parinktos dvi laikymo talpyklos po 17m³.

4.11. Produkcijos sandėlis

Stogo ir sienos elementų produkcijos sandėlio plotas S_{pt} , m² apskaičiuojamas:

$$S_{pt} = \frac{P_{pv} \times t_s \times k_1 \times k_2}{q_n} = \frac{23 \times 10 \times 1,5 \times 1}{0,3} = 1150m^2 \quad (4.11.1)$$

P_{pv} – gaminių kiekis per parą, vnt;

t_s – gaminių sandėliavimo trukmė, priimama 10;

k_1 – koeficientas, kuriuo įvertinamas plotas, reikalingas takams, praėjimams įrengti ($k_1 = 1,5$);

k_2 – koeficientas, kuriuo įvertinamas plotas, reikalingas kranui įrengti ($k_2 = 1$);

q_n – sandėlio 1 m² plote laikomas gaminių kiekis, vnt

5. EKONOMINĖ DALIS

Gamyklos gamybinių patalpų plotas apie 1161m², o tūris apie 12000m³. 3D printerių gamykla pagrįdė spausdins stogo bei sienos dalis, kurios ir sudarys pagrindinį pelną. Gamyklos kainai apskaičiuoti buvo sudaryta sąmata (pateikta priede). Sudarant sąmatą visi skaičiavimai buvo atliekami pagal parengtus projektinius brėžinius. Į sąmatą buvo įvertinta viskas, kad gamykla galėtų pradėti veikti. Gauta apytikslė gamyklos statybos kaina yra lygi 905688 €. Visi reikalingi įrenginiai, mašinos gauti reikiami produkcijai kainuos apie 11760000 €. Taip pat žemės įsigijimo ir žaliavų sandėliavimo rezervuarai kainuos 225000 €. Taigi viską įvertinus, kad galima būtų pradėti spausdinti gaminius, gauta suma lygi 15721050 €. Planuojama, kad investicija atsipirks per 30-32 metus.

Amortizaciniai apskaitymai:

$$\frac{\text{past.kaina}}{\text{past.naudojimolaikas}} + \frac{\text{įreng.kaina}}{\text{įr.naudojimolaikas}} = \frac{905688}{100} + \frac{11760000}{12} = 988755,25 \text{Eur}$$

Bendras įmonės metinis našumas 5890 m³/metus. Tai tenka sienų ir stogo dalių gamybai. Per vieną pamainą pagaminama 4 sienų ir 3 stogo dalys. Vienai daliai sienos pagaminti reikia apie 0,99m³ žaliavų. O vienai daliai stogo reikia apie 1,08m³ žaliavų.

5.1 lentelė. Visų įmonės darbuotojų atlyginimai

Darbuotojų kategorija	1	2	3	4	5
Darbo valandos kaina, Eur/h	3	3,5	4,5	5	6

5.2 lentelė. Visų įmonės darbuotojų atlyginimai

Pareigos	Mato vnt.	Darbininkų skaičius	Mėnesio atlyginimas	Metų atlyginimas (visiems)
Konstruktorius- Inžinierius (3)	€	6	753,75	54270

Labaratorijos darbuotojas (3)	€	2	753,75	18090
Gamybos vadovas (4)	€	1	837,5	10050
Operatorius (2)	€	3	586,25	21105
Labaratorijos asistentas (2)	€	1	586,25	7035
Direktorius (5)	€	1	1005	12060
Buhalterė (2)	€	1	586,25	7035
Administratorė (2)	€	1	586,25	7035
IT specialistas (4)	€	1	837,5	10050
Pardavimų vadybininkas (3)	€	3	735,75	27135
Tiekimo vadybininkas (3)	€	1	735,75	9045
Valytoja (1)	€	1	502,5	6030
Sargas (1)	€	1	502,5	6030
Sandėlio darbuotojas (1)	€	3	502,5	18090
			<u>Viso:</u>	213060

5.3 lentelė. Pagrindinių gamybos linijos darbuotojų darbo užmokesčio pasiskirstymas

Pareigos	Mato vnt.	Darbininkų skaičius	Mėnesio atlyginimas	Metų atlyginimas (visiems)
Konstruktorius-Inžinierius (3)	€	2	735,75	18090
Labaratorijos darbuotojas (3)	€	1	735,75	9045
Gamybos vadovas (4)	€	1	837,5	7035
Operatorius (2)	€	1	586,25	7035
Labaratorijos asistentas (2)	€	1	586,25	7035
Sandėlio darbuotojas (1)	€	1	502,5	6030
			<u>Viso:</u>	54270

Iš viso darbuotojams bus išmokėta 54270 € per metus. Kadangi bus dirbama 3 pamainomis tai bendrai darbuotojams reikės išmokėti 162810 € per metus.

5.4 lentelė. Energijos poreikavimas 1m³ gaminių.

Energijos rūšis	Kiekis 1m ³ gaminio pagaminti	Vieneto kaina, Eur.
Elektros energija spausdinant gaminius, kWh	32	0,102

5.5 lentelė. 3D sienos elementų spausdinimui naudojamų medžiagų kaštų sąmata

Eil. Nr.	Pavadinimas	Mata - vimo vnt.	Gamybos kainos per metus			1 m ³ gaminio gamybos kaina	
			Kiekis	Vnt. kaina be PVM	Suma, €	Kiekis 1m ³	Suma, €
1	2	3	4	5	6	7	8
0	Pagr. medžiagos						
	Cementas	m ³	483,9	65	44232,5	0,231	15
	Smėlis (0/1mm)	m ³	1954,5	173	366950,3	0,72	124
	Hidratacijos greitiklis	t	209,6	1800	264600	0,05	90
1	Viso :	----			675782,8		229
2	Pagalbinės medžiagos	€	5% nuo pagr. medž.	-	33789,2	-	11,45
3	Sandėliavimo išlaidos	€	8% nuo pagr. medž.	-	54062,62	-	18,32
4	Kuras ir energija						
	elektros energija	kWh	94944	0,102	9684,3	32	3,3
5	Pagrindinis darbo užmokestis	€	-	-	162810	-	27,6
6	Papildomas darbo užmokestis	€	8% nuo pagr. darb. užmok.	-	13024,8	-	2,2
7	Socialinis draudimas	€	31% nuo viso darb. užmok.	-	50471,1	-	8,5
8	Įrengimų išlaikymo ir eksploataavimo išlaidos	€	20% nuo pagr. medž.	-	135156,6	-	45,8
9	Įrengimų nusidėvėjimas	€	2% nuo pagr. medž.	-	13515,6	-	4,58
10	1 m ³ gaminio savikaina ceche (1-9)	€	-	-	1164690	-	358,45
11	Bendrosios gamyklos išlaidos	€	100% nuo pagr. darb. užmok.	-	162810	-	27,6
12	Negamybinės išlaidos	€	20% nuo 10p.	-	232937,9	-	71,69
13	1 m ³ gaminio visa savikaina (10-12)	€	-	-	1560438	-	457,74

14	Gaminio savikaina gamybos ceche	€	13p. padauginus iš gam. tūrio	-	-	-	453,2
15	Pardavimo kaina	€	13 % pelno	-	-	-	512,2
16	Pardavimo kaina su PVM	€	15p.+21% PVM	-	-	-	619,7
17	1 m ³ gaminio pardavimo kaina su PVM	€	16p. padalinus iš gam. tūrio	-	-	-	626

5.6 lentelė. Sienos elemento techniniai ekonominiai metiniai rodikliai

Eil. Nr.	Rodiklių pavadinimai	Matavimai	Reikšmė
1	Gamybinis plotas	m ²	1161
2	Metinis įmonės našumas:		
	a.) produkcijos apimtis	m ³ /vnt	2946 / 2974
	b.) pinigine išraiška	€	1560438
3	Pagrindiniu dirbančiųjų skaičius	žm.	7
4	Išdirbis:		
	a) produkcijos apimtimi	m ³ /žm	420,85
	b) pinigine išraiška	€/žm	222919,7
5	Gaminio savikaina:		
	a) vieneto	€/vnt	453,2
	b) metine	tukst. €	1348723,2
6	Pelnas:		
	a) vieneto	€	59
	b) metinis	€	173814
7	Gamybos rentabilumas	%	13

5.7 lentelė. 3D stogo elementų spausdinimui naudojamos medžiagos kaštų sąmata

Eil. Nr.	Pavadinimas	Mata - vimo vnt.	Gamybos kainos per metus			1 m ³ gaminio gamybos kaina	
			Kiekis	Vnt. kaina be PVM	Suma, €	Kiekis 1m ³	Suma, €
1	2	3	4	5	6	7	8
0	Pagr. medžiagos						
	Cementas	m ³	483,9	65	44232,5	0,231	15
	Smėlis (0/1mm)	m ³	1954,5	173	366950,3	0,72	124
	Hidratacijos greitiklis	t	209,6	1800	264600	0,05	90
1	Viso :	----			675782,8		229
2	Pagalbinės medžiagos	€	5% nuo pagr. medž.	-	33789,2	-	11,45
3	Sandėliavimo išlaidos	€	8% nuo pagr. medž.	-	54062,62	-	18,32
4	Kuras ir energija						

	elektros energija	kWh	94944	0,102	9684,3	32	3,3
5	Pagrindinis darbo užmokestis	€	-	-	162810	-	27,6
6	Papildomas darbo užmokestis	€	8% nuo pagr. darb. užmok.	-	13024,8	-	2,2
7	Socialinis draudimas	€	31% nuo viso darb. užmok.	-	50471,1	-	8,5
8	Įrengimų išlaikymo ir eksploataavimo išlaidos	€	20% nuo pagr. medž.	-	135156,6	-	45,8
9	Įrengimų nusidėvėjimas	€	2% nuo pagr. medž.	-	13515,6	-	4,58
10	1 m ³ gaminio savikaina ceche (1-9)	€	-	-	1164690	-	358,45
11	Bendrosios gamyklos išlaidos	€	100% nuo pagr. darb. užmok	-	162810	-	27,6
12	Negamybinės išlaidos	€	20% nuo 10p.	-	232937,9	-	71,69
13	1 m ³ gaminio visa savikaina (10-12)	€	-	-	1560438	-	457,74
14	Gaminio savikaina gamybos ceche	€	13p. padauginus iš gam. tūrio	-	-	-	494,4
15	Pardavimo kaina	€	13 % pelno	-	-	-	558,7
16	Pardavimo kaina su PVM	€	15p.+21% PVM	-	-	-	676
17	1 m ³ gaminio pardavimo kaina su PVM	€	16p. padalinus iš gam. tūrio	-	-	-	626

5.8 lentelė. Sienos elemento techniniai ekonominiai metiniai rodikliai

Eil. Nr.	Rodiklių pavadinimai	Matavimai	Reikšmė
1	Gamybinis plotas	m ²	1161
2	Metinis įmonės našumas:		
	a.) produkcijos apimtis	m ³ /vnt	2946 / 2728
	b.) pinigine išraiška	€	1560438
3	Pagrindiniu dirbančiųjų skaičius	žm.	7
4	Išdirbis:		
	a) produkcijos apimtimi	m ³ /žm	420,85
	b) pinigine išraiška	€/žm	222919,7
5	Gaminio savikaina:		
	a) vieneto	€/vnt	494,4
	b) metine	tukst.	1348723,2

		€	
6	Pelnas:		
	a) vieneto	€	64,3
	b) metinis	€	175410,4
7	Gamybos rentabilumas	%	13

6. DARBŲ SAUGA IR APLINKOSAUGA

6.1. Darbų sauga ir darbuotojų sveikata statinio statybos metu

Gamykla, kurioje bus gaminami namo konstrukciniai elementai, bei lauko indai yra statoma Molėtuose. Darbai bus pradėti vykdyti 2016m. Rugpjūčio mėnesį.

Gamyklos sanitarinės apsauginės zona yra 500m, pagal gamykloje atliekamas veiklas ir statybos darbų išmetamas į aplinką taršos rūšį [9].

Įmonėje visiems darbuotojams rengiami įvadiniai instruktažai, tai pat rengiami instruktavimai tam tikrų profesijų darbuotojams statybvietyje. Darbdavys užtikrina, kad darbuotojas gautų visapuse informaciją apie darbuotojų saugos ir sveikatos organizavimą įmonėje, apie esančias ir galimas profesines rizikas jo darbo vietoje, parengtas ar būtina taikyti priemones rizikai šalinti ir išvengti, vadovaujantis Darbuotojų saugos ir sveikatos įstatymu, taip pat darbuotojui būtiną informaciją, nurodytą Darbo įrengimų naudojimo bendruosiuose nuostatuose, Darbuotojų aprūpinimo asmeninėmis apsauginėmis priemonėmis nuostatuose, Krovinių kėlimo rankomis bendruosiuose nuostatuose, Saugos ir sveikatos apsaugos ženklų naudojimo darbovietėse nuostatuose. Visi įmonės darbuotojai, neatsižvelgiant į jų stažą, kvalifikaciją, gamybos pobūdį, yra instruktuojami visi darbuotojai saugos ir sveikatos klausimais [10].

Visi kėlimo mechanizmai ir kėlimo reikmenys, įskaitant pagrindines sudedamąsias dalis, tvirtinimus, įtvirtinimus ir atramas, yra reikiamai suprojektuoti ir pastatyti bei pakankamai stiprūs naudoti pagal numatytą paskirtį [12]. Pagrindinis kėlimo mechanizmas gamykloje yra kranas. Atstumas nuo žemiausios kranos dalies iki cecho grindų, kuriose gali būti žmonių (išskyrus kranos remonto aikštes), yra daugiau kaip 2 m. Atstumas nuo išsikišusių galinių kranos dalių iki kolonų, statinio sienų ir perėjimo takų turėklų yra 100 mm. Kranas atitinka visus jam keliamus reikalavimus pagal LST EN 13135-1 Kranai. Sauga. Projektavimas [18].

Pagrindinė darbuotojų darbo priemonė yra kompiuteris. Jis yra tinkamai pritaikytas darbui atlikti. Taip pat priemonė nekenkia darbuotojų saugai ir sveikatai.

Parentant darbo įrenginius, įvertinama specifinės darbo sąlygos bei pavojai įmonėje, ypač darbo vietoje, bei papildomi pavojai, kuriuos gali sukelti naudojamas darbo įrenginys. Ten, kur neįmanoma užtikrinti, kad darbuotojai darbo įrenginius naudotų be rizikos saugai ir sveikatai, imamasi atitinkamų priemonių, kad rizika būtų kiek galima mažesnė. Taip pat imamasi reikiamų

priemonių, kurios užtikrintų, kad per visą įrenginio naudojimo laiką jis būtų tinkamai techniškai prižiūrimas, palaikoma jo reikiama techninė būklė [10].

Darbuotojai aprūpinti asmeninėmis apsaugos priemonėmis (Apsauginiai šalmai, ausinės su lankeliu galvai, apsauginiai veido skydeliai, pirštinės, batai su apsaugine nosele, drabužiai ir pan.) [11].

Pagal gamykloje atliekama veiklą gamykla priskiriama D klasės gaisro kategorijai. Gamyklos patalpose yra 3 nešiojami gesintuvai – visi gesintuvai yra užpildyti ABC tipo milteliais ir sveria po 4kg. Gesintuvai po gamyklą išskirstyti tolygiai ir jie atitinka visus reikalavimus pagal LST EN 3 standartą. Taip pat objekto teritorijoje pirminėms gaisro gesinimo priemonėms laikyti įrengtas specialus skydas. Jame laikoma: 2 gesintuvai (Vienas gesintuvas su 6kg ABC miltelių užpildu, kitas su 4kg angliarūgštės užpildu), 2 kibirai, smėlio dėžė ir kastuvas, audeklas, 2 laužtuvai, 2 kirviai. Skydas įrengtas lengvai prieinamoje ir gerai matomoje vietoje, netoli nuo išėjimo iš patalpų [13].

Gamykloje pakabinti užrašai, nurodantys gesintuvų laikymo vietas. Tiek patalpoje, tiek lauke gesintuvų laikymo vietą nurodantys užrašai gerai matomi, įrengti 2 m aukštyje nuo grindų paviršiaus. Gesintuvai nudažyti raudonai, o jų ženklavimas atitinka LST P 1447:1997.

Projekte įrengiamos patalpos su persirengimo kambariais bei drabužių spintelėmis [9]. Į persirengimo kambarius lengvai patenkama, jie erdvūs, juose įrengtos penkios sėdimos vietos įrengtas 1 tualetas. Taip pat įrengtos rakinamos vietos darbuotojų drabužiams bei asmeniniams daiktams saugoti. Projekte sudarytos galimybės tinkamai pavalgyti [10].

6.2. Profesinės rizikos vertinimas darbo vietoje

Rizikos vertinimo atliekamas naujai pastatytos gamyklos viduje, kai atliekami 3D spausdinimo darbai. Darbo metu naudojami įvairūs įrenginiai spausdinimo printeriai, skiedinio maišyklės, kranas ir įvairūs kiti mechanizmai.

Rizikos įvertinimo tikslas yra nustatyti priemonės, kurios reikalingos, kad rizika būtų pašalinta arba kitaip kontroliuojama bei sumažintos žalingų poveikių pasekmės. Rizikos vertinimas yra nuodugnus tyrimas to, kas gali pakenkti žmonėms darbo vietoje; tokio vertinimo metu siekiama išsiaiškinti ar pakanka egzistuojančių atsargumo priemonių, ar dar būtina imtis papildomų veiksmų, norint užkirsti kelią pavojams. Taip pat rizikos vertinimu siekiama užtikrinti, kad nei vienas žmogus nebus sužeistas arba nesusirgs. Nelaimingų atsitikimų išdavoje gali žūti arba būti sužaloti žmonės bei nukentėti verslas, nes prarandama produkcija, sugadinamos mašinos, padidėja draudimo mokesčiai arba darbdavys baudžiamas įstatymų nustatyta tvarka [14].

Darbas be rizikos praktiškai yra neįmanomas, tačiau iš darbdavio yra reikalaujama padaryti viską kas įmanoma, norint sumažinti galimą riziką.

Vertinant riziką, būtina atsižvelgti į specifinius tose įmonėse esančius veiksnius bei laikytis specialių rizikos vertinimą reglamentuojančių teisės aktų reikalavimų [14].

Rizikos veiksnių identifikavimas pateiktas 6.2.1. – 6.2.4. lentelėse.

6.2.1 lentelė. Fizikinių veiksnių sukeltų pavojų, galinčių pakenkti sveikatai, identifikavimas

Veiksnių, galinčių kelti pavojų profesinei saugai ir sveikatai, sąrašas	Veiksnių pasireiškimo charakteristikos, atsižvelgiant į nustatytą poveikį ar pavojų	Ar buvo nustatytas poveikis ar pavojus		Ar būtinos prevencinės priemonės	
		Ne	Taip	Ne	Taip
Darbo vietos šiluminė aplinka (patalpų mikroklimatas)	Šaltuoju metų laiku, darbo patalpose oro santykinis drėgnumas buvo daugiau nei 75 % [15]		×		×
Darbo vietos apšvietimas	Pakankama darbo vietos ir praėjimų apšvietama remiantis HN 98:2014 normomis, nėra akinimo	×		×	
Triukšmas	Triukšmo poveikio dydis per dieną, viršija ribinę ekspozicijos vertę > 87 dB(A) [16]		×		×
Vibracija, darbas su vibruojančiais įrankiais, vibraciją keliančios mašinos	Vibracijos intensyvumas neviršija Darbuotojų apsaugos nuo triukšmo keliamos rizikos nuostatų	×		×	

6.2.2 lentelė. Fizinį veiksnių sukeltų pavojų, galinčių pakenkti sveikatai, identifikavimas

Veiksnių, galinčių kelti pavojų profesinei saugai ir sveikatai, sąrašas	Veiksnių pasireiškimo charakteristikos, atsižvelgiant į nustatytą poveikį ar pavojų	Ar buvo nustatytas poveikis ar pavojus		Ar būtinos prevencinės priemonės	
		Ne	Taip	Ne	Taip
Besisukančios ar judamos mašinų dalys	Įrenginių besisukančios dalys tinkamai apsaugotos, nuo sužalojimo remiantis techniniu reglamentu „Mašinų sauga“	×		×	
Pjovimo įrankiai (rankiniai ir mechaniniai)	Pjovimo įrankiai naudojami labai retai. Visi esami atitinka saugumo reikalavimus (Darbo įrenginių bendrieji naudojimo nuostatai)	×		×	
Transportavimo įranga, kranai, liftai ir kt.	Gamybos patalpose veikiantis kranas atitinka jam keliamus reikalavimus (LST EN 13135-1). Darbuotojai supažindinti su krano judėjimo kryptimis, laikytis saugaus atstumo	×		×	

Transporto ir priėjimo keliai, pastoliai, kopėčios ir kt.	Gresia pavojus nukristi nuo kopėčių. Neatitinka LST EN ISO 14122-4:2004 reikalavimų.		×		×
Karštos medžiagos ir/ar paviršiai	Karštų medžiagų ar paviršių nenustatyta	×		×	
Medžiagų išmetimas (pvz., plastinių medžiagų liejimo metu), ruošinių išmetimas	Brokuoti bandiniai ar likusios atliekos tinkamai išmetamos į joms skirtus konteinerius	×		×	
Slėginiai indai	Slėginiai indai nenaudojami	×		×	
Elektros įtampa	Visa elektros instaliacija yra tinkamai įrengta ir atitinka visas Elektros įrenginių įrengimo bendrąsias taisyklės. Elektriniai prietaisai tvarkingi, atitinka jiems keliamus reikalavimus	×		×	
Darbo vietos priešgaisrinis parengimas	Visos gesinimo priemonės įrengtos joms skirtose vietose. Yra laisvai prieinamos vietose ir matomos. Matomose vietose pakabinti evakuacijos planai. Priešgaisrinių priemonių kiekis atitinka normas	×		×	

6.2.3 lentelė. Cheminių veiksnių sukeltų pavojų, galinčių pakenkti sveikatai, identifikavimas

Veiksnių, galinčių kelti pavojų profesinei saugai ir sveikatai, sąrašas	Veiksnių pasireiškimo charakteristikos, atsižvelgiant į nustatytą poveikį ar pavojų	Ar buvo nustatytas poveikis ar pavojus		Ar būtinos prevencinės priemonės	
		Ne	Taip	Ne	Taip
Naudojamos bei procese išskiriamos kenksmingos medžiagos, kurių trumpalaikis poveikis labai kenksmingas, sukelia ūmius arba lėtinius profesinius susirgimus	Galimybės įkvėpti kenksmingos medžiagas nėra	×		×	
Naudojamos bei procese išskiriamos kenksmingos medžiagos, kurių ilgalaikis poveikis sukelia ūmius arba lėtinius profesinius susirgimus	Kenksmingų medžiagų neaptikta	×		×	
Cheminės medžiagos, sukeliančios sprogimo, gaisro pavojų	Lengvai užsidegančių ir sprogstamų medžiagų neaptikta	×		×	
Dulkės	Darbo vietoje buvo nustatyta įkvėpiamoji cemento dulkių frakcija – 3 mg/m ³ [17] įrenginiuose sumontuoti dulkių filtrai. Rizikos nėra, dulkių frakcija neviršija ribinės normos		×	×	

Kelių vienos krypties cheminių medžiagų poveikis	Poveikis neužfiksuotas	×		×	
--	------------------------	---	--	---	--

6.2.4 lentelė. Ergonominių ir psichosocialinių veiksnių sukeltų pavojų, galinčių pakenkti sveikatai, identifikavimas

Veiksnių, galinčių kelti pavojų profesinei saugai ir sveikatai, sąrašas	Veiksnių pasireiškimo charakteristikos, atsižvelgiant į nustatytą poveikį ar pavojų	Ar buvo nustatytas poveikis ar pavojus		Ar būtinos prevencinės priemonės	
		Ne	Taip	Ne	Taip
Darbo sunkumas (Dinaminis darbas)	Vienkartinio keliamo krovinio masė daugiau nei 30kg, kai krovinys nešamas retai. Didelė tikimybė gauti traumą		×		×
Darbo sunkumas (Statinis darbas)	Statinio krūvio dydis per pamainą atitinka leistinas normas	×		×	
Valdymo įrangos išdėstymas nuolatiniame darbo vietoje	Pagrindinis įrangos išdėstymas 1 zonoje	×		×	
Pastangų dydis, judinant valdymo įrangą	Pastangų dydis iki 4,5kg	×		×	
Darbo poza	Darbas stovint arba sėdint ir dvi valandos pamainos laiko dirbant nepatogioje pozijoje dalis		×		×
Judėjimo atstumas darbo aplinkoje	Per pamainą darbuotojas įveikia apie 1km. Neviršija leistinų normų	×		×	
Darbo įtampa (dėmesys)	Darbo metu stebimas vienas objektas	×		×	
Darbo įtampa (Regos ir klausos analizatoriai)	Stebimo objekto dydis (mm), objekto dydis (mm), suprantamų žodžių ir signalų procentas	×		×	
Darbo emocinė įtampa	Darbas pagal nustatytą grafiką, darbas esant laiko ir informacijos trūkumui, atsakomybės už kitų asmenų saugumą		×		×
Darbo monotonija	Elementų skaičius besikartojančioje operacijoje yra daugiau nei 4, maksimali besikartojančios operacijos trukmė trunka apie 200s	×		×	
Darbas izoliuotoje vietoje (kai darbuotojas dirba vienas arba izoliuotoje patalpoje)	Darbuotojas dirba izoliuotoje patalpoje		×		×
Jaunų darbininkų, nėščių moterų, neįgalių asmenų darbas	Gamykloje dirba jauni ir vidutinio amžiaus darbuotojai	×		×	
Darbo patalpų dydis, dizainas	Visos patalpos suprojektuotos tinkamai, vietos darbui pakanka	×		×	

Atlikus visus rizikos vertinimus, buvo gauti rezultatai:

Rizikos veiksnių rezultatai pateikti 6.2.5. lentelėje.

6.2.5 lentelė. Rizikos nustatymo duomenų lapas

Veikla	Pavojai	Taikomos saugos priemonės	Pavojaus dydis	Traumos ar kitokio sveikatos pakenkimo tikimybė (balais)	Pasekės	Rizikos dydis balais
Darbo vietos šiluminė aplinka (patalpų mikroklimatas)	Fiziniai	Įrengiama papildoma vėdinimo sistema	1	1	2	2
Triukšmas gamybinėse patalpose	Triukšmas	Apsauga nuo triukšmo (ausinės), specialių poilsio pertraukų nustatymas	1	1	2	2
Kopėčios	Fiziniai	Pakeistos į tinkamas naudojimui pagal LST EN ISO 14122-4:2004 reikalavimus	2	1	1	2
Vienkartinio krovinio kėlimas	Fiziniai	Rankinį darbą pakeisti mechaniniu	1	1	3	3
Darbo poza sukant plokštes	Fiziniai	Daryti darbo pertraukas	1	1	1	1
Darbo emocinė įtampa prižiūrint darbuotojus	Emociniai	Dalintis atsakomybę su kitais darbuotojais	2	1	1	2
Darbas izoliuotoje vietoje	Fiziniai	Pajvairinti darbą	1	1	2	2

Atliktas rizikos nustatymas, nustatyta kad rizika yra priimtina ir neviršija toleruotinos.

Darbo poza – šis darbas surinko vieną balą ir tai reiškia jog nereikia jokių papildomų veiksmų atlikti.

Darbo vietos šiluminė aplinka(patalpų mikroklimatas); triukšmas gamybinėse patalpose; lipimas kopėčiomis; vienkartinio krovinio kėlimas; darbas izoliuotoje vietoje; darbo emocinė įtampa prižiūrint darbuotojus – visi šie išvardyti darbai surinko po 2-3 balus, o tai reiškia jog nereikia jokių papildomų rizikos mažinimo ar šalinimo priemonių, išskyrus atvejus, kai joms įgyvendinti nereikia didelių sąnaudų (laiko, pinigų ir pastangų). Reikia užtikrinti, kad veiktų esamos rizikos šalinimo ir (ar) mažinimo priemonės.

6.3. Aplinkosaugos reikalavimai

Statinys suprojektuotas bei pastatytas taip, kad neatsitiktų grėsmės žmonių higienai ar sveikatai ir nebūtų jokių aplinkos teršalų dėl netinkamo kietųjų atliekų šalinimo statant ir eksploatuojant pastata. Taip pat užtikrinta aplinkos apsauga nuo fizinio, cheminio, biologinio ar kitokio neigiamo poveikio. Įrenginėjant statybvietai įrengti nemaži plotai užimantys želdiniai, medžiai. Medžiai, esant reikalui, kertami tik gavus aplinkos apsaugos organizacijų leidimus. Visi 3D namo elementų spausdinimo gamykloje dirbantys mechanizmai turi galiojančius techninės apžiūros talonus, kuriuose nurodyta, kad mechanizmas tinkamas eksploatacijai ir neviršija išmetamų toksinių medžiagų kiekių normų. Statybinės atliekos yra rūšiuojamos ir sandėliuojamos statybvietai aikštelėje, kol bus išvežtos perdirbimui. Visi gamykloje naudojami statybos produktai nėra pralaidūs teršalams ir nuotėkoms, kurios gali pasklisti aplinkoje ir turėti aplinkai neigiamą poveikį, sukelti grėsmę žmonių sveikatai, gyvūnams ir augalams bei ekosistemoms [18].

7. MOKSLINIS TIRIAMASIS DARBAS

7.1. Literatūros analizė

7.1.1. 3D spausdinimas, kas tai yra?

Daugeliui 3D namų spausdinimas iš pradžių atrodo neįtikėtinais. Mes visi įpratę, kad, paspaudus mygtuką „Spausdinti“, išlenda atspausdintas popieriaus lapas su jame esančiu vaizdu arba tekstu, o čia vietoj lapo gauname konstrukciją. 3D spausdinimas yra trimačio, praktiškai bet kokios formos konstrukcijos gamavimo procesas iš skaitmeninio modelio. 3D spausdinimas palaipsniui bei skirtingomis formomis sudeda sluoksni po sluoksnio ir taip gauname produktą.

Terminas 3D spausdinimo gamyba apibrėžia technologijas, kurių pagalba kuriamos konstrukcijos naudojant nuoseklus sluoksniavimo techniką. Šiuo būdu pagaminti produktai ar įvairios konstrukcijos gali būti taikomos įvairiuose gamybos cikluose, tiek prieš gamybiniame tiek plataus masto produkcijoje, tiek mechaninio apdirbimo ar po gamybinio apdirbimo srityje.

3D spausdinimo būdas, naudojant betono mišinį pirmą kartą pristatytas 1987 metais, o šiandien jau yra daug panašių būdų į šį, bet pagrindinis principas išlieka tas pats. Betono spausdinimo procesas buvo sukurtas Loughborough universitete, o kontūro kūrimo metodas sukurtas pietų Kalifornijos universitete [19].

7.1.2. 3D pritaikymas statybų industrijoje

Statybos industrija tradiciškai rėmėsi specifikacijomis ir dviejų dimensijų brėžiniais (2D), kad perteiktų informaciją. Numatyti objekto dizainą ir pavaizduoti detalų konstrukcijų išdėstytą buvo kuriami nedidelio masto modeliai, pagaminti iš medienos, jie buvo kuriami įvertinti konstrukcijas ir dizainą. Šis metodas reikalavo labai daug laiko bei pastangų, tad šiomis

dienomis vis daugiau specifikacijų ir 2D brėžinių yra pakeičiami virtualia (3D) pastato modeliavimą aplinka (BIM). 3D modeliavimo privalumas yra tai, kad ji galima susieti kartu su skaitmeniniais gamybos metodais pasakojo (Buswell 2008) [19].

Beveik kiekviename pramonės sektoriuje, procesų automatizavimas padėjo greičiau ir pigiau gaminti produktus. Daugelyje pramonės sričių rankų darbą keitė robotai, bet to negalima pasakyti apie statybą. Tad, tai reikėtų pritaikyti ir statybos sričiai.

3D spausdinimas tampa vis pigesnis, labiau patikimas ir sparčiai plinta visame pasaulyje, netrukus tai smarkiai pakeis statybos pramonę. Leidžiami statyti pastatai turi būti statomi daug kartų greičiau ir gerokai mažesnėmis sąnaudomis. Be to, yra aišku, kad statyboje 3D spausdinimas gali leisti įgyvendinti statinių iliuzijas ir taip supaprastinti ir pagerinti planavimo reikalavimus projekte [19].

3D spausdinimo privalumai:

- Greita statyba;
- Nepavojinga;
- Reikalauja mažai fizinės darbo jėgos;
- Laiku atliekamas darbas;
- Reikalingas mažesnis biudžetas;
- Statybų metų, naudojamas plotas yra daug mažesnis;
- Nepaliekama atliekų;
- Galimybė statyti užterštoje aplinkoje;
- Galimybė statyti Mėnulyje arba kitose planetose;
- Pastatų architektūrinė įvairovė;
- Mažas energijos sunaudojimas.

7.1.3. Cemento pagrindu naudojamų medžiagų spausdinimo būdai

Skaitmeninė gamyba į rinką atneša didesnę įvairovę betoninėse konstrukcijose. Galimybė statyti konstrukcijas be klojinių bei didelė architektūros laisvė yra tai apie ką mes tik svajojom [6].

Per pastaruosius metus buvo sukurtas dinamiško liejimo gamybos būdas. Nauji liejimo būdai padeda vis labiau išstobulinti skaitmeninę betono spausdinimo gamybą [19]. 3D spausdinimo metodai nėra pakankamai išstobulinti, kad juos laisvai galima būtų taikyti statant didesnius objektus. Statybos dažniausiai atliekamos su statiniais iki trijų aukštų ar tiesiog laikančiųjų konstrukcijų gamybai. Norint 3D naudoti pramoninių būdų, reikia teisingai įvertinti du aspektus - sluoksnių sukibimo tvirtumą ir pakankama medžiagos tvirtumą. Laiko tarpas tarp dviejų išlietų sluoksnių

turi būti pakankamai ilgas, kad medžiaga būtų mechaniškai atspari, galinti palaikyti vėliau užlieto sluoksnio svorį. Laikas tarp užlietų sluoksnių turi būti pakankamai trumpas, kad būtų užtikrintas sukibimo stiprumas [19].

Atliekant spausdinimo darbus, tai yra, didėjant konstrukcijos aukščiui, pirmasis sluoksnis gauna vis didesnę apkrovą. Siekiant užtikrinti konstrukcijos stabilumą, takumo įtempis turi būti norminėse ribose. Liejama medžiaga turi būti skysta bei pakankamai tvirta, kad išlaikytų mechaninį stabilumą. Laikui bėgant, medžiagai esant ramybės būsenoje, stipris didėja. Šio darbo tikslas yra prognozuoti struktūros stabilumą atliekant spausdinimo darbus [19].

7.1.4. Teorinės struktūros tyrimo metodai

Daugelis gaminimo technikos tyrimų nustatė, jog statymo greitis nulemia proceso sėkmę. Kuriama gamybinė išspaudimo technika, kuri gebėtų konstruoti, tai yra, skaičiuoti plaušelių sluoksnius, kurie gali būti pagaminti taip, kad nepastebimai deformuotu ankstesnius sluoksnius.

Teorinė struktūros idėja yra palyginti mechaninę jėgą pirmojo sluoksnio ir aukščiau uždėto sluoksnio atlaikymo jėgą ir stabilumą, kad būtų galima modeliuoti konstravimą. Būtina apskaičiuoti abiejų rišamųjų medžiagų sluoksnių mechaninę jėgą prieš hidrataciją (kuriai daro įtaką medžiagos kiekio spaudimas) ir skirtingų krūvių atsiradimą, kurie susidaro gamyboje. Sukurta teorija privalo nustatyti ar sluoksninė struktūra gali išlaikyti savo pačios krūvį ir nustatyti, kuomet uždėjus dar vieną sluoksnį, struktūra sugriūtų.

Jei statoma sienos ar kolonos pavidalo struktūra, vertikali jėga, veikianti apatinį sluoksnį, didėja, didėjant struktūros aukščiui. Netgi jei vertikali jėga didėja palaipsniui uždėdant naują sluoksnį, konstrukcijos vidutinis greitis gali būti apskaičiuotas po statybos laiko. Iš pradžių turėtų būti pasirenkamas pastovus statybos tempas. Pastovus statybos tempas žymimas raide R.

Vertikali jėga σ_v (sigma) veikianti pirmąjį sluoksnį gali būti užrašyta taip [19]:

$$\text{Vertikali jėga} - \sigma_v = \rho gh(t) = \rho gRt \quad (7.1.4.1)$$

ρ – betono tankis;

t – laikas, nuo tada, kai buvo pradėtas dėti pirmasis sluoksnis;

h – struktūros aukštis, kuris yra pastatytas virš pirmojo sluoksnio.

Pirmojo sluoksnio stabilumas gali būti patikrintas lyginant vertikalųjį krūvį ((7.1.4.1) formulė) su kritinių nesėkmės krūviu, tai yra, tas krūvis, kuriam esant apatinis sluoksnis neatlaiko ir struktūra sugriūna.

$$\text{Kritinis krūvis} - \sigma_c(t) = \alpha_{geom} \times \tau_0(t) \quad (7.1.4.2)$$

τ_0 – tokia pirmosios uždėtos medžiagos jėga, kuriai esant ta medžiaga nebėra lanksti,

α_{geom} – geometrinis faktorius, kuris priklauso nuo pastatytos struktūros formos.

Per ramybės laikotarpį (kai išliejamas pirmas sluoksnis ir laukiama kol ant jo bus liejamas kitas) takumo įtempio padidėjimas dažniausiai laikomas linijiniu. Roussel apibrėžė struktūrizavimo tempą A_{thix} kaip takumo įtempio padidėjimo pastovų tempą po ramybės laikotarpio.

$$\tau_0(t) = \tau_{0,0} + A_{thix}t \quad (7.1.4.3)$$

$\tau_{0,0}$ – medžiagos, kuri neturėjo ramybės laikotarpio, takumo įtempis.

Dėl įvairių komponentų ir jungimosi reiškinių, cemento struktūra gali būti pažeista. Flokuliacija susidaro dėl koloidų sąveikos ir CSH (calcium silicate hydrate) nukleacijos cemento dalelių susilietimo vietose. Pagal Roussel flokuliacija trunka kelias dešimtąsias sekundės. Per kelias dešimtąsias minutes po flokuliacijos struktūra susidaro dėl CSH tiltelių susiformavimo tarp cemento dalelių netikruose sąlyčio taškuose. Manoma, jog CSH tiltelių formavimosi greitis yra pastovus, nes ramybės periode šilumos išsiskyrimas dėl hidratacijos yra pastovus. Taip pat galvojama, kad šiame periode takumo įtempio augimas bėgant laikui turi būti linijinis [19].

Po šio linijinio augimo periodo, kuris trunka 60 min, takumo įtempio augimo tempas greitėja. Tai parodo, jog kieto tūrio frakcijos linijinis augimas nėra nereikšmingas.

Perrot pasiūlė eksponentinę takumo įtempio evoliuciją, kuri apibūdina vienodą (lygų, palengva vykstanti) perėjimą iš pradinio linijinio augimo į eksponentinį augimą asimptotiškai artėjant prie Roussel modelio, kai t_t artėja prie 0:

$$\tau_0(t) = A_{thix}t_c \left(e^{t_{rest}/t_c} - 1 \right) + \tau_{0,0} \quad (7.1.4.4)$$

t_c – charakteringas laikas, kurio vertė derinama, kad atitiktų eksperimentinę vertę.

Geometrinis parametras α_{geom} priklauso nuo statomos struktūros formos. Tiesi vertikali konstrukcija, horizontalus pjūvis ir uždėto sluoksnio aukštis yra parametrai, kurie naudojami skaičiuoti α_{geom} . Apskrita kolona, kurios parametras D , α_{geom} apskaičiuojamas pagal išspausto bandinio srovės teoriją. Bandant sulyginti išspausto srauto ir 3D spausdinimo techniką yra laikoma, kad pirmasis sluoksnis yra tarp dviejų plokštelių. Šių dviejų plokštelių paviršius laikomas šiurkščiu tam, kad atitiktų prigludusią prie sienos hipotezės sąlygas [19].

α_{geom} apskaičiuojamas pagal šią formulę:

$$\alpha_{geom} = 2 \left(1 + \frac{D}{2\sqrt{3}h} \right) \quad (7.1.4.5)$$

Svarbu pabrėžti, kad kitokie α_{geom} parametrai yra naudojami kitokioms konstrukcijoms, pvz., sienoms. Jie gali būti gaunami iš statinės analizės arba empirinių duomenų.

Cemento klampumas yra nereikšmingas, nes šis tyrimas daugiau dėmesio skiria srauto pradžiai, t.y., esant nuliniam šlities koeficientui. Šioje dalyje mes nepaisėme pirmojo sluoksnio svorio [19].

7.1.5. Medžiagos ir tyrimo metodas

Buvo gaminama cilindro formos konstrukcija, kurios aukštis 35 mm, skersmuo 60 mm ir kurios takumo įtempis 4 kPa ir kuri atlaikė gravitacijos jėgą bei savo pačios svorį. Loughborough universitete tebuvo pasiektas 1 kPa takumo įtempis.

Tai pasiekta naudojant cemento sausą mišinį, kurį sudaro cementas (50%), kaolinas (25%), kalkakmenio užpildas (25%). Vandens ir cemento mišinio santykis buvo 0,41, taip pat buvo pridėtas polikarboksilato polimero miltelių (polimero ir cemento mišinio santykis 0,3%).

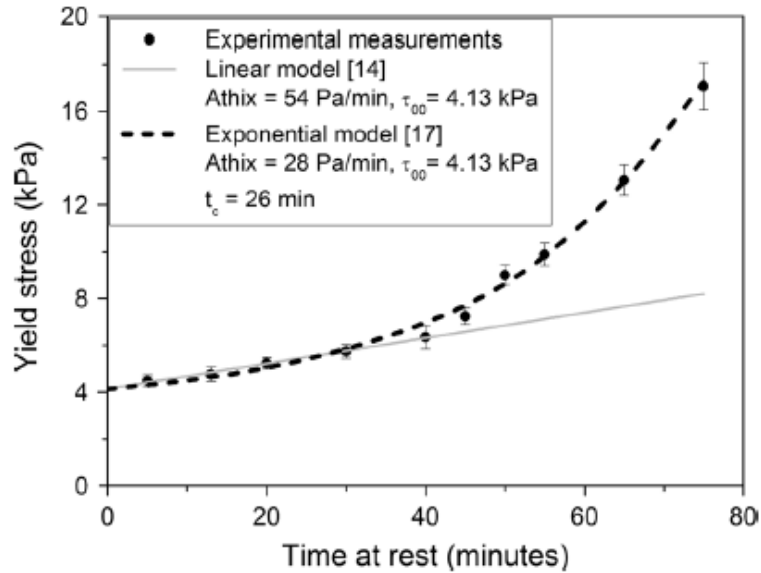
Šiame tyrime buvo naudojamas CEM I tipo cementas, kurio specifinis (savitasis) tankis – 3,15. Cemento specifinis (savitasis) paviršiaus plotas, kuris matuojamas naudojant Blaine prietaisą, buvo 3390 cm²/g, o vidutinis dalelių dydis – 10 μm. Buvo naudojamas Powdered Polwhite BB kaolino molis. Savitoji molio sunkio jėga 2,65, didžiausia frakcija – 40 μm, o vidutinės frakcijos – 9 μm. Kalkakmenio užpildo dalelių dydžiai buvo nuo 0,1 iki 100 μm (d₅₀=15 μm).

Mišinys buvo ruošiamas 2 min 60 rpm maišant sausas sudedamąsias dalis, vėliau maišoma su vandeniu Hobart maišytuve. Maišymas susideda iš dviejų etapų: 2 min maišant 140 rpm ir 3 min 280 rpm.

Pirmasis sluoksnis buvo patalpintas tarp dviejų lygiagrečių plokštelių. Viršutinė plokštelė buvo užkrauta 1,5 N jėga. Laiko tarpas tarp sluoksnių uždėjimo (nuo 11 iki 60 s) yra derinimas su vidutiniu statymo greičiu (nuo 1,1 iki 6 m/h). Žinoma, apkrova gali būti per didelė ir konstrukcija gali sugriūti, kad taip neatsitiktų, viršutinė plokštelė sujungta su LVDT tipo keitikliu. Keitiklis neleidžia toliau didinti apkrovos, kuri lemtų konstrukcijos griuvimą.

Po sumaišymo matavimai atliekami ilgiau kaip 90 min. Čia cemento pagrindo medžiagos takumo įtempis ramybės laikotarpiu skaičiuojamas pagal Perrot. Šis metodas panašus į skaičiavimus, kurie pateikti Khayat. Čia įtempio augimo skaičiavimai atliekami maždaug kiekvienas 10 min. esant pastoviam 0,001 s⁻¹ šlities koeficiente kaip aprašyta Mahaut. Po sumaišymo visi mėginiai paliekami ramybėje [19].

Takumo įtempis matuojamas naudojant Anton Paar Rheolab QC reometrą. Klampumo poveikis nereikšmingas nes nustatyta labai maža šlities norma ir takumo įtempis skaičiuojamas pagal didžiausią sukimo momentą srauto pradžioje. Takumo įtempio pasikeitimas bėgant laikui ramybės laikotarpyje bei Perrot ir Roussel modeliai pavaizduoti (1 Pav.) [19].

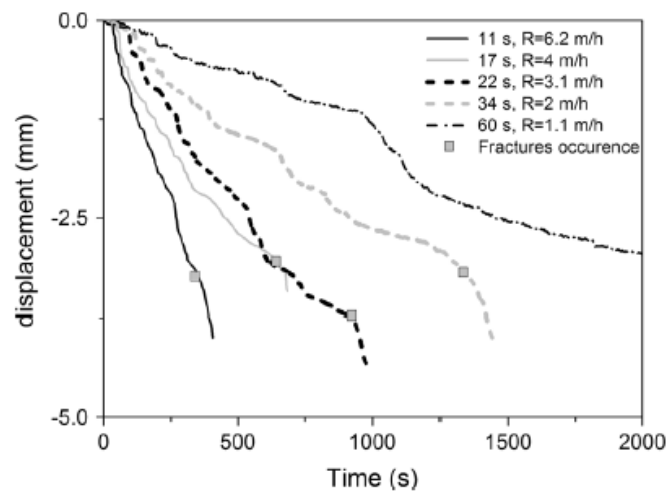


7.1.5.1 pav. Takumo įtempio kitimas nuo laiko

Iš 1 pav. matyti, jog takumo įtempis pirmąsias 40 min gali būti laikomas linijiniu (čia naudojamas Roussel modelis). Ilgesniam laikotarpiui, takumo įtempio didėjimą geriau aprašo Perrot modelis.

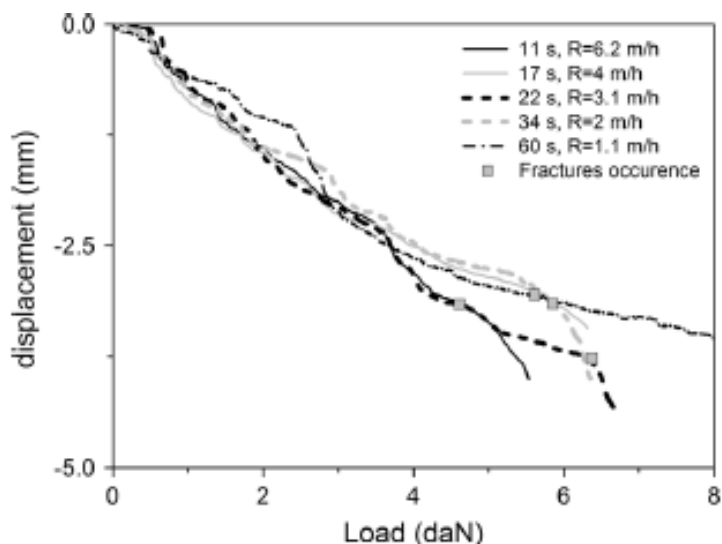
7.1.6. Rezultatai ir diskusijos

Pirmiausia reikėtų aptarti nepavykusius bandymus. Buvo stebima įtrukimų pradžia ir registruojama viršutinės plokštelės poslinkis. Antrame paveiksle matome, per kiek pasislenka viršutinė plokštelė kiekviename laiko tarpe (11, 17, 22 ir 34s). Kai tik gaminio įtrukimai pasirodo ant bandinio, laikas iškart fiksuojamas (žr. 3 pav.) [19].

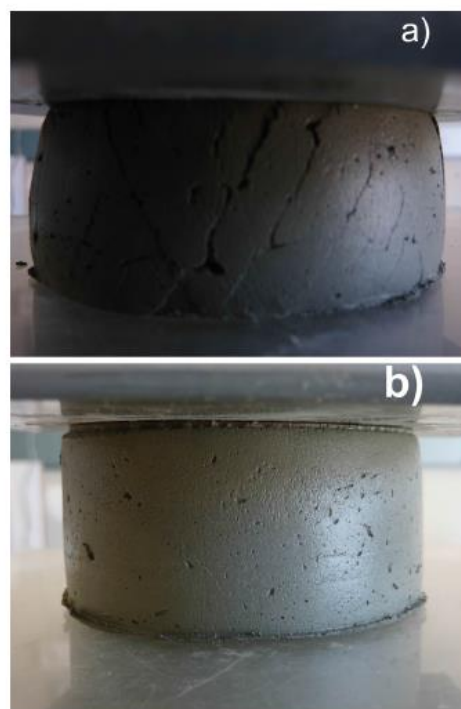


7.1.6.1 pav. Poslinkio priklausomybė nuo laiko

Galime matyti per kokį laiką tarpą yra pasiekiamas bandinio poslinkis ir kada patiriamas lūžis (žr. 2 pav.). Taip pat verta paminėti, kad bandinio lūžio atsiradimas ir poslinkis yra beveik vienodi pirmuose keturiuose bandymuose (žr. 4 pav.). Visi bandymai aprašyti ir apibendrinti paveiksle (žr. 5 pav.) [19].



7.1.6.3 pav. Poslinkio priklausomybė nuo apkrovos



7.1.6.2 pav. a-bandinio būklė kai laiko tarpas 17s

b – bandinio būklė kai laiko tarpas 60s

	Time gap				
	11 s R = 6.2 m/h	17 s R = 4 m/h	22 s R = 3.1 m/h	34 s R = 2 m/h	60 s R = 1.1 m/h
Failure time and stress	420 s 4.71 kPa	730 s 5.31 kPa	950 5.34 kPa	1320 4.80 kPa	No failure
	370 s 4.15 kPa	600 s 4.36 kPa	780 4.38 kPa	1540 5.60 kPa	
Average failure time and stress		640 s 4.65 kPa			
		655 s 4.76 kPa			
SD	395 s 4.45 kPa	656 s 4.76 kPa	865 4.86 kPa	1430 5.20 kPa	
	–	54 s 0.38 kPa	–	–	

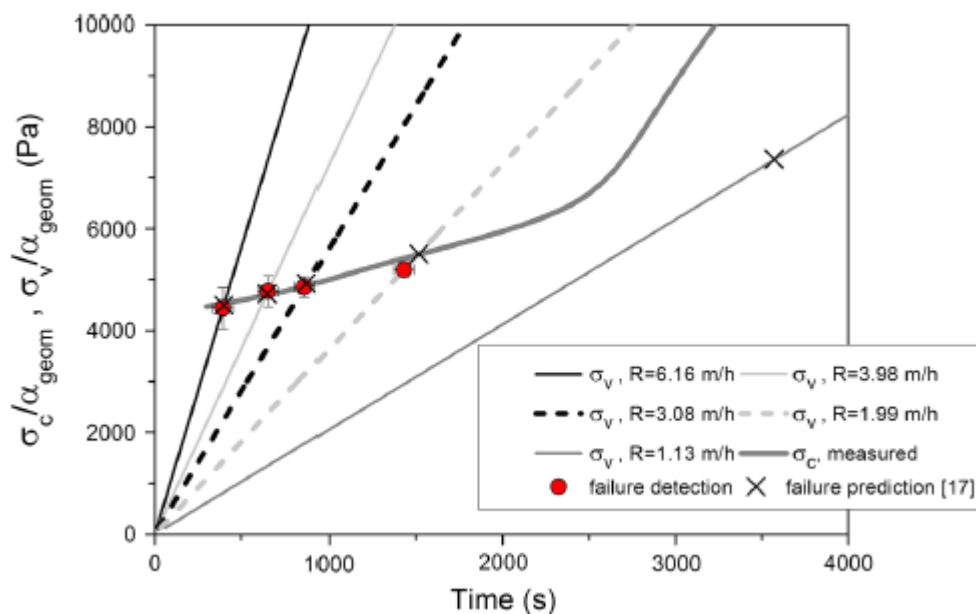
7.1.6.4 pav. Bandymų rezultatai

Vienintelis pavyzdys kuris lieka nepažeistas po bandymo yra gaunamas su mažiausia sparta $R = 1,1 \text{ m/h}$. Dėl aukštos pastato normos, visi mėginiai žlugo dėl nepakankamo mechaninio stiprumo. Pirmuose atvejuose, medžiaga neturėjo laiko tapti pakankamai standi, kad išlaikytų virš jos užlietų sluoksnių srovį.

Kad būtų lengviau prognozuoti lūžio atsiradimą, reikia remtis teorinėmis struktūromis. Reikia palyginti vertikalia jėgą su kritine jėga, kurios yra susijusios su medžiagos stiprumu. Prognozuojamos nesėkmės laikas yra labai panašus su eksperimentiškai atliktų laikų. Galime

sakyti jog kritinė jėga visada yra didesnė nei vertikali pagal $R = 1,1 \text{ m / h}$ spartą (žr. 6 pav.). Galime teigti, jog siūlomas teorinis pagrindas yra pajėgus prognozuoti gamybos sėkmę. Pagal Roussel, kritinis nepakankamumo laikas t_f gali būti apskaičiuojamas taip [19]:

$$t_f = \frac{\tau_{0.0}}{qgR / \alpha_{geom} - A_{thix}} \quad (7.1.4.6)$$



7.1.6.5 pav. Apskritimai rodo eksperimentinį lūžio laiką o įstriži kryžiai rodo teorinį lūžio laiką

7.1.7. 3D namų modeliavimo technologinės bazės kūrimo būdai

1. Kontūro kūrimas (*angl. Contour crafting*)
2. Betono spausdinimas (*angl. Concrete printing*)
3. D-Forma (*angl. D-Shape*)

Kontūro kūrimas (*angl. Contour crafting*)

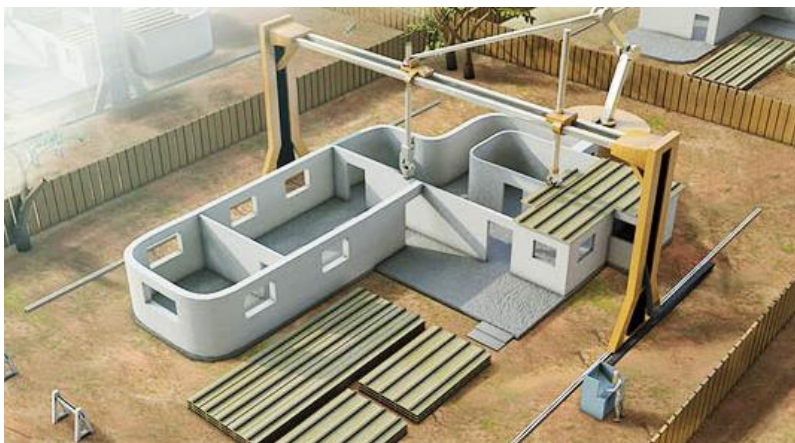
Kontūro kūrimas yra pastato spausdinimo technologija kuri buvo pradėta tyrinėti Behrokh Khoshnevis iš Pietų Kalifornijos Informacijos mokslų instituto. Caterpillar Inc suteikė pirmą finansavimą, kad padėtų remti Khoshneviso projekto tyrimus 2008m.

Iš pradžių buvo sumanyta kaip būdas statyti liejimo pramonės dalis. Khoshnevis matydamas situacija Irane nusprendė pritaikyti tai namų statyboje. Irane milijonas žmonių gyvena lūšnynuose ant žemės, neturi normalių gyvenimo sąlygų. Taip gyvenama dėl stichinių nelaimių, žemės drebėjimų. Gyvendami tokiomis sąlygomis žmonės užsikrečia baisiomis lygomis, jas pernešinėja ir taip gyvendami tik didina užkrėstų žmonių sąrašą. Vyriausybė ieškojo sprendimų kaip pakeisti esamą situaciją. Problema buvo dabartinėje, tradicinėje statyboje, kurios vyksta visame pasaulyje. Jos yra lėtos, reikalaujančios daug darbo jėgos ir yra neefektyvios. Šiuo metu

aplink mus viskas automatizuota, mes gyvenama automatizuotame pasaulyje, mūsų batai, rūbai ar net mašinos yra sukurtos robotų. Pastatai yra vienintelis dalykas ką mes statome savo rankomis. Taip pat statyba yra viena iš pavojingiausių darbo sričių. Ji yra daug pavojingesnė už kasybą ar žemės ūki. Irane statybose kasmet miršta po 10 000 žmonių [20].

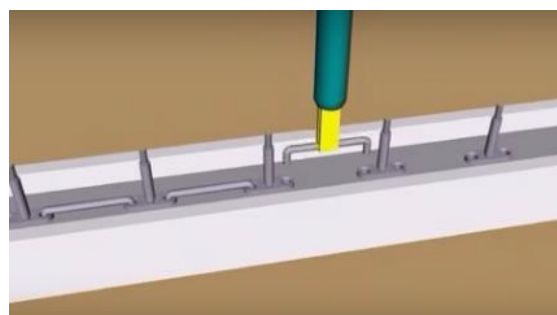
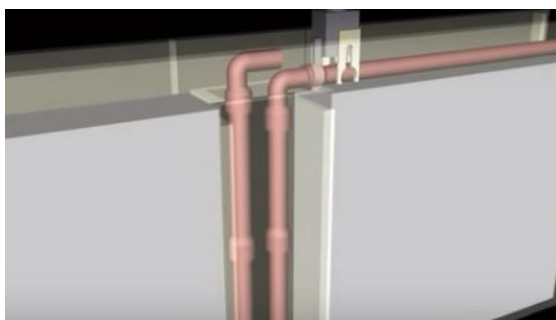
Khoshnevis manė jog Kontūro kūrimas yra vienintelė išeitis atstatyti po stichinių nelaimių nusiaubtus namus.

Šis gamybos procesas turi tikrai didelį potencialą namų kvartalų gamyboje. Dr. Khoshnevis teigia, kad namai su pilnu įrengimu ir skirtingais dizainais gali būti įrengti vieno mygtuko paspaudymu. Sistema buvo tobulinama daug metų. Specialus cementas yra leidžiama per reikalingo skerspjūvio antgali, kur tuo pat metu mentelės pagalba yra nulyginami kraštai, ir tai sukuria lygu paviršiu, (žr. 7 pav.). Paveikslėlyje pati konstrukcija yra nesudėtingo karkaso, kompiuteriu valdomas kranas yra pritvirtintas ant skersinio kuris atremtas ant dviejų statramsčių. 3D spausdintuvas kuris atlieka visą spausdinimo darbą pritvirtintas ant vaikštančio skersinio [20].



7.1.7.1 pav. Proceso gamyba

Žemiausias konstrukcijos sluoksnis gauna didžiausią apkrovos jėgą, todėl spausdinamas mišinys turi būti pakankamai stiprus. Taip pat yra bandoma įdiegti visus reikiamus vamzdynus, elektros instaliacija bei santechnika. Khoshnevis teigė kad šiuo būdu per 20s galima sukurti kvadratinį metrą sienos, per 1 valandą kambarį o per 24 valandas net visą 200 kvadratinųjų metrų namą. Jums beliks tik įsistatyti langus ir duris [20].



7.1.7.2 pav. Vamzdynų montavimas

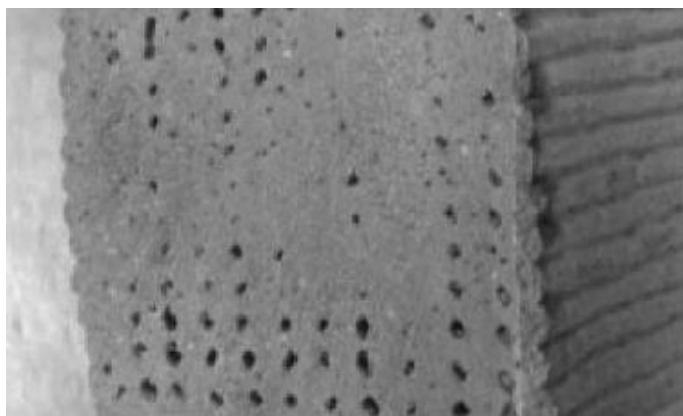
Yra labai daug skirtingu rūšių robotu naudojamų šioje srityje. Galima vienų metu naudoti kad ir penkis 3D spausdintuvus – tai labiau aktualu daugiabučių namų statyboje. Srkinius gaminius daryti rankomis užima labai daug laiko, bei yra sudėtinga, su šia technologija viskas pasidaro daug paprasčiau ir pastatyti šia gražia architektūrą tampa vieni juokai [20].

Kontūro kūrimo (*angl. Contour crafting*) privalumai:

- Darbai atliekami nepaliekant atliekų
- Reikalinga darbuvieta, daug mažesnė nei įprastoje statyboje
- Greitas namų atstatymas
- Galimybė statyti kitose planetose

Betono spausdinimas (*angl. Concrete printing*)

Betono spausdinimas kaip ir kontūro kūrimas yra to paties veikimo principo. Betono spausdinimas naudoja mažesnių matmenų gaminius ir atlieka tai be lyginimo mentelių, todėl tai reikalauja daugiau priežiūros vidaus ir išorės apdailai [21]. Pagrindinis skirtumas nuo kontūro kūrimo, kad betono spausdinimas palieka briauną sienos kraštuose ir jei statant namo konstrukcijas yra reikalaujama lygiu sienų, sienas reiktų lyginti žmogaus rankų pagalba, nes toks procesas dar nėra automatizuotas. Atlikinejant procesą medžiaga turi būti itin stipri, viskas atliekama nenaudojant klojinių, todėl ji turi beveik nesitraukti, nes traukdamasi sudarytų įtrūkimus. Naudojama speciali cementinė medžiaga atlaiko apie 100-110Mpa, tai maždaug 3 kartus daugiau nei paprastas betonas, tokia medžiaga kuriama kompensuoti silpnesnes konstrukcijas [20].



7.1.7.3 pav. spausdinimo metu atsiradusios išilginės tuštumos



7.1.7.4 pav. Konstrukcijų spausdinimas

Vienas iš būdų gauti reikiama medžiaga yra:

Tam, kad būtų rastas tikslus sprendimas į šią problemą, reikia nustatyti tikslų klampumą ypatingam betono mišiniui. Receptas apima devynis skirtingų ingredientus, kurie skaičiuojami gramų tikslumu ir buvo sukurti August Hamelius ir Mikael Backebjörk, civilinės inžinerijos ir Lundo universiteto [21].

Masės pagalbinės medžiagos yra smėlis (smulkiagrūdis), cementas, vanduo, lakieji pelenai, silicio dūmai, superplastikas. Betonas sumaišomas maišytuvu maždaug 5-7 min prieš naudojimą.

Receptnamn	8a	vdehr	0.275				
Betongkvalitet		Densitet (kg/m ³)	2210			Satsstorlek (L)	15
K-värde	Material	Andel (%)	Vikt (kg)	Densitet (kg/m ³)	Volym (m ³)	Torrhalt (%)	Labrecept (kg)
	Vatten		228.0	1000	0.2280		3.343
	Bascement		659.0	3000	0.2197		9.885
	Cement						
1	Silikaostoft		83.0	2600	0.0319		1.245
1	Flygaska		87.0	2280	0.0382		1.305
	Sika Crackstop 12 mm		1.2	900	0.0013		0.018
	Övriga Material						
	Sikament Evo 26	1.26%	8.30	1080	0.0077	40.00%	0.1246
	Sika Tard 932	0.50%	3.30	1160	0.0028	27.00%	0.0494
	Tillsatsmedel						
	Lufthalt	4.0%			0.0400		
						Fuktkvot (%)	
	Sand 15	80.0%	912	2650	0.3443		13.69
	Baskarp 95	20.0%	228	2650	0.0861		3.42
	Ballast < 8mm						
	Ballast < 8mm						

7.1.7.5 pav. Detalus receptas

Vanduo betono specialiam mišiniui ruošti, yra be kenksmingų priemaišų - sulfatų, mineralinių ir organinių rūgščių, riebalų, geležies nuosėdų, cukraus ir kitų., trukdančių betonui

normaliai sukietėti. Vanduo, kuriame yra druskų ne daugiau kaip 5000 mg/l, sulfatų mažiau nei 2700 mg/l ir kurio pH<4, tinka ruošti mišinį. Tinkamiausias geriamasis bei švarus upių ir ežerų vanduo. Betone vanduo yra reikalingas cheminių reakcijų vyksmui, t. y. hidratacijai, kurios metu betonai stiprėja ir kietėja. Visuose betono mišiniuose yra daugiau vandens negu minimaliai reikia hidratuoti cementui [20].

Lakieji pelėnai iš esmės susideda iš mažų sferinių dalelių – aliumosilikato stiklo, kuris yra gaminamas iš degimo anglies miltelių šiluminėse elektrinėse. Dideli kiekiai pelėnų lieka nepanaudoti daugelyje pasaulio šalių, buvo bandoma naudoti pelėnus kaip užpildą. Dažniausias gamybos procesas, lakieji pelėnai yra granuliuojami ir tada kepinami sukamojoje krosnyje. Pelėnai keliauja ardynu, esant temperatūrai intervale 1000-1200 ° C. Plonumas ir anglies kiekis pelėnuose yra pagrindinė problema, kontroliuojant pagaminta iš sukepintų pelėnų užpildo kokybę [20].

Cementas – tai daugiausia vartojama hidraulinė rišamoji medžiaga, kuri, sumaišyta su vandeniu, rišasi ir kietėja, o sukietėjusi nepraranda stiprumo bei tūrio pastovumo ore ir vandenyje. Jis gaunamas smulkiai sumalus klinkerį su nedideliu kiekiu gipso.

D-Forma (angl. D-Shape)

D-Forma yra nauja robotų pagalba statomų struktūrų sistema, naudojant naujas medžiagas kurti aukščiausios kokybės akmens pavidalo struktūras. D-Forma yra didelės 3D dimensijos spausdintuvas kuris veikia pagal stereolitografiją. Pagrindinė naudojama medžiaga yra smėlis su neorganiniais ypatingais rišikliais, siekiant sukurti akmens pavidalo objektus [20].

Enrico Dini yra pirmasis kuris atrado šį būdą. Pirmas jo gaminyje buvo iš epoksidinių dervų, kurios įprastai naudojamos slidėms, automobilių ar lėktuvų dalių gamybai kaip rišiklis. 2008m. Biniis užpatentavo tai su epoksidinėmis dervomis bet vėliau dervas pakeitė magnio pagrindu naudojama medžiaga ir antrą kartą užpatentavo savo spausdinimo būdą. Ateityje Dini siekia savo būdu statyti plataus masto pastatus [20].

D-Forma buvo kuriama padaryti palankesnes sąlygas statybų pramonėje bei pigesnę variantą nei įprasta statyba, kad būtų prieinamesnės sąlygos žmonėms kurie turi mažiau pajamų. Sistema taip pat naudoja aplinkai nekenksmingas medžiagas ir labai žemą energijos kiekį. Procesas yra panašus į "spausdinimo". Tai yra panašus į kė rašalinės spausdintuvas veikia ant popieriaus lapo. Šis principas leidžia architektams suprojektuoti fantastiškai sudėtingas architektūrinės struktūras [20].

Iš išorės, įrenginys atrodo kaip lego konstruktorius, kvadratinės arba stačiakampės formos, kuri sudaro aliuminio konstrukcija. Naudojama CAD-CAM programinę įrangą, kuri kontroliuoja mechanizmų gamybos procesą. Ši sistema turi spausdinimo galvutę, kuri yra pagrindinė šerdis šioje technologijoje. Nepaisant savo dydžio konstrukcija gali būti lengvai

transportuojama, surinkti ir išmontuoti užtruktu tik keletą valandų dviem darbininkams. Procesas prasideda nuo architekto projektuojamo projekto, naudojant CAD 3D kompiuterinę technologiją. Vėliau, kompiuterini dizainą paversti į STL failą ir importuoti į kompiuterinę programą, kuri valdo D-Formos spausdintuvo galvutę. Procesas vyksta be pertraukų, pradedant nuo pamatų lygio ir baigiant stogo konstrukcija, įskaitant laiptus, išorės ir vidaus pertvaras, įgaubtos ir išgaubtos paviršius, kolonos, skulptūras, kabelių ir vamzdynų ertmės. Kietėjimo procesas trunka 24 valandas. Spausdinimas prasideda nuo konstrukcijos apačios ir kyla kas 5-10mm [20].

Atliekant darbus su D-Forma sumažėja nelaimingų atsitikimų rizika. Statybos pramonė yra paveikta dažnų traumų ir nelaimingų atsitikimų bei mirtinų atvejų nei daugelyje kitų pramonės šakų. Norint apsaugoti žmones tradicinėje statybos srityje reikalingos brangios saugos priemonės. D-Forma sumažintų riziką iki minimumo bei sumažintų finansines išlaidas.

D – Formos pagrindiniai rinkos klientai:

Statybos pramonė:

- Statybos rangovai - padaryti vieną ar dvejų aukštų pastatus;
- Architektų įmonės, kurioms reikia sukurti pastatų modelius;
- Visi smiltainio produktų gamintojai.

Meno pramonė:

- Studijoms - padaryti manekenus, akmenis akvariumams. Įvairių baseinų kūrimas;
- Linksmos skulptūros pralinksminimui ir įvairios smiltainio skulptūros;
- Muziejams – atkartoti paminklus, šventyklas [20].



7.1.7.6 pav. D-Formos įrenginio konstrukcija



7.1.7.7 pav. Skulptūra, sukurta D-Formos pagalba

7.2. Tyrimas

Kauno technologijos universitete buvo atlikti bandymai naudojant 3D printerį. Mišinys buvo ruošiamas laboratorijoje, maišomi maišyklės pagalba iki vientisos konsistencijos mišinio.

7.2.1 lentelė. Specialaus betono mišinio kiekis

Mišinys	Žaliavų kiekis %			
	Smėlis 0/1 fr.	Cementas	Vanduo	Hidratacijos greitiklis
Nr.1	64%	13%	16%	7%

Pagal pakeiktus duomenis buvo atspausdintas bandinys, kurio rišimosi laikas yra 15min.

(žr. 7.2.1 pav.)

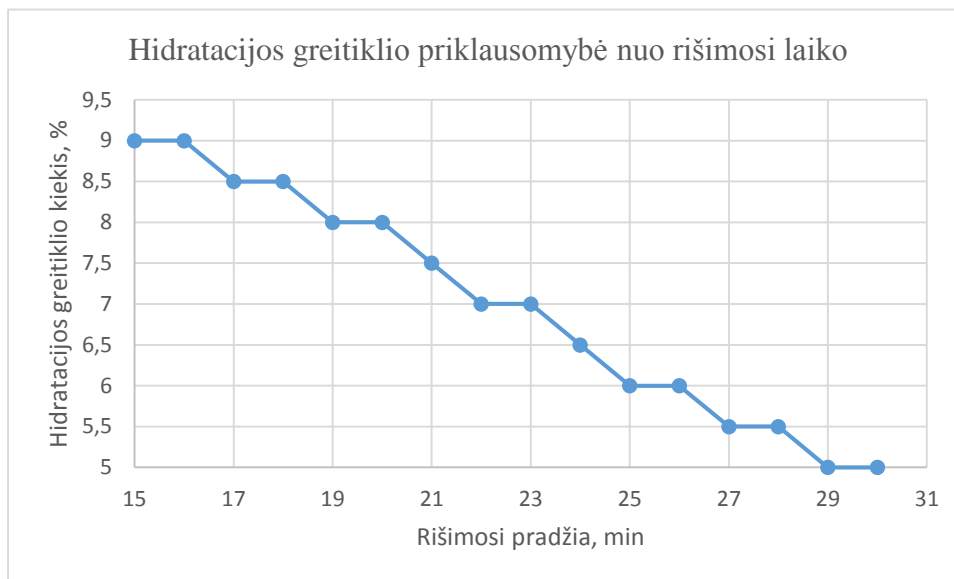


7.2.1 pav. Bandinys po 15min kietėjimo

Keičiant mišinio sudėtį galime ženkliai keisti medžiagos savybes. Pagal atliktus bandymus matome kaip pasiskirsto medžiagos rišimosi pradžia, tankis ir stipris gniuždant keičiant žaliavų proporcijas.

Medžiagos savybės:

- Rišimosi pradžia - 15 -30 min
- Tankis -1800- 2200 kg/m³
- Stipris gniuždant - 4 – 20 MPa po 1 paros kietėjimo



Su gautu bandiniu kurio rišimosi trukmė 15 minučių buvo atliktas šaldymo-šildymo bandymas. Ir gautas vaizdas po 14 parų šaldymo-šildymo ciklų (pagal LST CEN/TS 12390-9:2006 standartą)



7.2.2 pav. Bandinys po 14 parų šaldymo-šildymo ciklų

Nustatant medžiagų savybes, visi bandiniai buvo spausdinami naudojant Kauno technologijos universiteto sukurtu prototipu.



7.2.4 pav. Bandinių spausdinimo mechanizmo prototipas.

IŠVADOS

Suprojektuota 48,6 m ilgio, 24 m pločio ir 11 m aukščio namo dalių spausdinimo gamykla. Su gamykla jungiasi ir administracinės patalpos. Administracinės patalpos yra dviejų aukštų, kurių bendras plotas siekia apie 320 m². Gamyklos sklypo plotas – 5280 m². Bendras gamyklos su administracinėmis patalpomis užstatymo plotas – 1365 m². Administracinių patalpų išorės apdaila yra iš aliuminio stiklo sistemos. Gamyklos išorinės sienos yra iš daugiasluoksnių plokščių KS1000 AWP. Stogo konstrukcija – lengva, ant metalinių santvarų montuojama stogo danga iš profiliuotų skardos lakštų. Grindų viršus yra 120 mm storio betono sluoksnis su priedais, didinančiais atsparumą mechaniniams poveikiams.

Pagrindinėje gamybos linijoje suprojektuoti 2 spausdintuvai. Spausdintuvas yra 12 m ilgio, 5m pločio ir 4m aukščio. Spausdintuvais bus gaminamos namo konstrukcinės dalys – sienos ir stogo elementai. Sienos elementas bus 6 m ilgio, 0,4 m pločio ir 1,5 m aukščio, tokių pat matmenų bus ir stogo elementas. Be šių spausdintuvų, gamykloje suprojektuoti tris nedideli spausdintuvai, kurie dirbs ne pilnu pajėgumu. Jie bus naudojami laboratoriniams bandymams ir esant užsakymams bus gaminami lauko indai. Visiems spausdintuvams aprūpinti buvo suprojektuoti cemento ir smėlio silosai, bei vandens ir hidratacijos greitiklio saugyklos.

Konstrukcinėje dalyje įvertinus apkrovas ir pagal pavojingiausio derinio ($ULS/7 = 1*1,35 + 3*0,9 + 2*1,5 + 4*1.5$) gautas ašines įrašas, buvo sukonstruoti santvaros elementai. Santvaros viršutinė juosta iš 180x8mm kvadratinių vamzdžių, apatinė juosta iš 160x5mm ir spyriai iš 100x6mm ir 100x4mm kvadratinių vamzdžių. Taip pat buvo projektuojami trys santvaros mazgai – viršutinės juostos su spyriais, flanšinė jungtis ir atraminis mazgai.

Ekonominėje dalyje gauta apytikslė gamyklos statybos kaina yra 875525 €. Visi reikalingi įrenginiai, mašinos gauti reikiamai produkcijai kainuos apie 11760000 €. Taip pat žemės įsigijimo ir žaliavų sandėliavimo rezervuarai kainuos 225000 €. Taigi viską įvertinus, kad galima būtų pradėti spausdinti gaminius, gauta suma lygi 15721050 € . Planuojama, kad investicija atsipirks per 30-32 metus. Sudaryta lokalinė sąmata gamyklos kainai apskaičiuoti.

Išnagrinėti visi aktualūs gamyklos darbų saugos klausimai, bei aptarti aplinkosaugos reikalavimai. Atliktus profesinės rizikos vertinimą darbo vietoje, nustatyta, kad visos rizikos yra toleruotinos.

Literatūros analizėje buvo analizuojamas A. Perrot, D. Rangeard, A. Pierre tyrimo metodas. Metodo idėja yra palyginti mechaninę pirmojo sluoksnio atlaikymo jėgą, kai aukščiau uždėti sluoksniai veikia į pirmąjį sluoksnį, tam tikrais laiko intervalais. Su sukurta teorija yra nustatinėjama ar sluoksninė struktūra gali išlaikyti savo pačios krūvį ir nustatyti, kuomet uždėjus dar vieną sluoksnį, struktūra sugriūtų. Laiko tarpas tarp sluoksnių uždėjimo (nuo 11 iki 60 s) yra derinimas su vidutiniu statymo greičiu (nuo 1,1 iki 6 m/h). Atlikus visus bandymus Vienintelis

pavyzdys kuris lieka nepažeistas po bandymo yra gaunamas su mažiausia sparta $R = 1,1 \text{ m / h}$. Dėl aukštos pastato normos, visi mėginiai žlugo dėl nepakankamo mechaninio stiprumo.

Taip pat keletas bandymų buvo atliekama Kauno technologijos universitete su turimu spausdinimo mašinos prototipu. Pagal pateiktą mišinio sudėtį, buvo atspausdintas bandinys, kurio rišimosi laikas yra 15min. Bandinys kuris buvo gautas po 15min rišimosi, taip pat išbandytas 14 parų šaldymo-šildymo ciklą (pagal LST CEN/TS 12390-9:2006 standartą)

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. STR 1.08.02:2002. Statybos darbai. Valstybės žinios, 2002, Nr. 54-2150.
2. STR 1.07.01:2010. Statybą leidžiantys dokumentai. Valstybės žinios, 2010, Nr. 116-5944.
3. STR 1.06.03:2002. Statinio projekto ekspertizė ir statinio ekspertizė. Valstybės žinios, 2002, Nr. 55-2200.
4. Gajauskas, Julius, et al. Pastatų konstruktoriaus ir statybininko žinynas. Vilnius: Naujasis lankas, 2009. 1520 p. ISBN 978-9955-03-565-7.
5. STR 2.05.04:2003. Poveikiai ir apkrovos. Valstybės žinios, 2003, Nr. 233.
6. STR 2.05.08:2005. Plieninių konstrukcijų projektavimas. Pagrindinės nuostatos. Valstybės žinios, 2005, Nr. 28-895.
7. STR 2.05.08:2005. Praktinio taikymo vadovas 6 priedas. Medžiagos. Elementų skaičiavimas. Valstybės žinios, 2006, Nr. 1-4.
8. STR 2.05.08:2005. Praktinio taikymo vadovas 8 priedas. Jungčių skaičiavimas ir reikalavimai konstrukcijoms projektuoti. Valstybės žinios, 2007, Nr. 133-5409.
9. Dėl buities, sanitarinių ir higienos patalpų įrengimo reikalavimų. Valstybės žinios, 2002, Nr. 64-2569
10. Dėl darbuotojų saugos ir sveikatos instrukcijų rengimo ir instruktavimo tvarkos patvirtinimo, Valstybės žinios, 2001, Nr. 35-1196.
11. Dėl darbuotojų aprūpinimo asmeninėmis apsaugos priemonėmis nuostatų patvirtinimo. Valstybės žinios, 2003, Nr. 70-3170
12. Dėl darboviečių įrengimo statybvietėse nuostatų patvirtinimo. Valstybės žinios, 2003, Nr. 69-2720
13. Gaisrinės saugos pagrindiniai reikalavimai. Valstybės žinios, 2010, Nr. 146-7510
14. Profesinės rizikos vertinimo bendrieji nuostatai. Valstybės žinios, 2012, Nr. 126-6350
15. HN 69:2003. Šiluminis komfortas ir pakankama šiluminė aplinka darbo patalpose. Parametru norminės vertės ir matavimo reikalavimai. Valstybės žinios, 2004, Nr. 45-1485
16. Darbuotojų apsaugos nuo triukšmo keliamos rizikos nuostatai. Valstybės žinios, 2005, Nr.53-1804
17. HN 23:2011 „Cheminių medžiagų profesinio poveikio ribiniai dydžiai. Valstybės žinios, 2011-09-10, Nr. 112-5274
18. Kėlimo kranu naudojimo taisyklės. Valstybės žinios, 2010 Nr. 112-5717
19. A. Perrot, D. Rangeard, A. Pierre. Materials and Structures - Structural built-up of cement-based materials used for 3D printing extrusion techniques.
20. Isaac Perkins, Martin Skitmore. International Journal of Construction Management. Three-dimensional printing in the construction industry: A review.

21. Kontūro kūrimo technologija. Prieiga per internetą - <http://www.dshape.com/tecnologia.htm>
22. 3D spausdinimas šiomis dienomis. Prieiga per internetą - <http://bustas.lrytas.lt/nekilnojamasis-turtas/ispudingas-vilas-kinai-lieja-spausdintuvu-is-betono.htm>

PRIEDAI